



ESCUELA DE POSGRADOS  
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

“ANÁLISIS DE FATIGA EN PREMOLARES RESTAURADOS CON TÉCNICA  
BULK E INCREMENTAL MEDIANTE UN ANÁLISIS  
DE ELEMENTOS FINITOS.”

Autora

Ana Belén Parra Revilla.

Año  
2020



FACULTAD DE POSGRADOS

“ANÁLISIS DE FATIGA EN PREMOLARES RESTAURADOS CON TÉCNICA  
BULK E INCREMENTAL MEDIANTE UN ANÁLISIS DE ELEMENTOS  
FINITOS.”

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Especialista en Rehabilitación Oral

Profesor Guía

PhD. Byron Vinicio Velásquez Ron

Autora:

Ana Belén Parra Revilla.

Año  
2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Análisis de Fatiga en Premolares Restaurados con Técnica Bulk e Incremental mediante un Análisis de Elementos Finitos, a través de reuniones periódicas con el estudiante Ana Belén Parra Revilla, en el semestre 2020-00, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

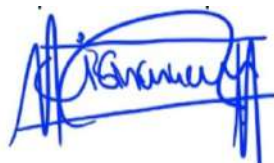


---

PhD. Byron Velásquez  
Especialista en Rehabilitación Oral  
C.I. 170595647-0

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Análisis de Fatiga en Premolares Restaurados con Técnica Bulk e Incremental mediante un Análisis de Elementos Finitos, de Ana Belén Parra Revilla en el semestre 2020-00, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dra. Virginia Vizcarra', is centered on the page. The signature is stylized and somewhat cursive.

---

Dra. Virginia Vizcarra  
Especialista en Rehabilitación Oral  
C.I.1710896034

## DECLARACIÓN DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”



\_\_\_\_\_  
Ana Belén Parra Revilla  
C.I. 1714958152

## **DEDICATORIA**

Con todo mi amor a mi esposo, mi mejor amigo, mi compañero de lucha, mi mano derecha. A mi hermosa hija, mi inspiración para superarme, la razón de mi existir. A mis padres y hermanos, mi fuerza. A mi ángel, mi hermano, desde donde estés sé que me sostienes. A mi abuelito Guillermito.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi guía, mi todo. A la facultad de Odontología de la Universidad de las Américas por abrirme las puertas. A mis profesores, especialmente Dr. Byron Velásquez quien me apoyó incondicionalmente y me enseñó que la practicidad en la vida puede llevarnos a grandes cosas, a quien admiro, valoro y respeto. A mi esposo, mi hija, mis padres y hermanos, gracias por su apoyo y su amor.

## RESUMEN

**Objetivo:** determinar mediante un sistema de elementos finitos, la distribución de estrés a lo largo un premolar inferior sano, un premolar con cavidad Clase II restaurado con resina Bulk y en un premolar con cavidad Clase II restaurado con resina nanocompuesta con técnica incremental. **Introducción:** la selección de un material de restauración en odontología representa un reto cuando se trata de efectuar un tratamiento exitoso. Existen propiedades biomecánicas en las resinas que influyen en la longevidad de una restauración. **Materiales y Métodos:** se simuló tres situaciones a cada uno de estos modelos: 1. Masticación (fuerza axial de 200 N) en el área funcional de las caras oclusales; 2. Deglución (fuerza axial de 200 N) en 5 puntos estables de las caras oclusales; 3. Deflexión (fuerza horizontal de 600 N) en 1 punto de la cúspide vestibular. **Resultados:** mostraron que la resina Bulk obtuvo mejor distribución de estrés frente a las fuerzas en la masticación, deglución y deflexión, comparado con la resina Nanocompuesta. **Conclusión :** La hipótesis fue comprobada el diente premolar con cavidad clase II obturado con resina Bulk mostró resultados menores de estrés en comparación del diente premolar con cavidad clase II obturado con resina Nanocompuesta.

**Palabras clave:** distribución de estrés, elementos finitos, restauración ocluso-distal clase II, resina Bulk, resina nanocompuesta, masticación, deglución, deflexión.



## ABSTRACT

**Objective:** Determine the stress distribution along using a finite element system of a healthy lower premolar, a lower premolar with a Class II cavity obtured with Bulk resin and a lower premolar with a Class II cavity obtured with nanocomposite resin with an incremental technique

**Introduction:** the selection of a restoration material in dentistry represents a challenge to obtain a successful treatment. There are biomechanical properties in composites that influence the longevity of a restoration.

**Materials and Methods:** Three situations were simulated for each of these models by means of three-dimensional finite element method: 1. Mastication (200 N axial force) in the functional area of the occlusal faces; 2. Swallowing (axial force 200 N) at 5 stable points on the occlusal faces; 3. Deflection (600 N horizontal force) at 1 point of the vestibular cusp.

**Results:** It was obtained that the bulk resin obtained better stress distribution to chewing, swallowing and deflection forces, compared to the nanocomposite resin.

**Conclusion:** The hypothesis was verified: the premolar tooth with cavity class II filled with Bulk resin showed lower stress results compared to the premolar tooth with cavity class II filled with nanocomposed resin.

**Key words:** stress distribution, finite elements, occluso-distal restoration class II, bulk resin, nanocomposite resin, chewing, swallowing, deflection.

# ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Justificación .....	4
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Oclusión .....	5
2.1.1. Referente histórico de modelos de oclusión .....	5
2.1.2. Componentes anatómicos de la oclusión .....	6
2.1.3. Oclusión Ideal - Orgánica.....	6
2.1.3.1. Oclusión dentaria .....	7
2.1.3.2. Alineación dentaria .....	7
2.1.3.3. Máxima Intercuspidación (MIC) .....	7
2.1.3.4. Relación Céntrica (RC).....	8
2.1.3.5. Oclusión Cétrica (OC).....	8
2.1.3.6. Contactos Interoclusales .....	8
2.1.3.7. Desoclusión .....	9
2.1.3.8. Guías anteriores .....	9
2.1.3.9. Alineación Tridimensional.....	9
2.1.3.10. Curvas Wilson y Spee .....	9
2.1.3.11. Oclusion Mutuamente Protegida .....	10
2.1.4. Maloclusión .....	10
2.1.4.1. Clasificación de Angle .....	11
2.1.4.1.1. Clase I (Neutro-Oclusión) .....	11
2.1.4.1.2. Clase II (Disto-Oclusión).....	11
2.1.4.1.3. Clase II (Mesio-Oclusión) .....	12
2.1.4.2. Interferencia Oclusal .....	12
2.1.4.3. Deflexión .....	12
2.1.5. Masticación .....	13
2.1.5.1. Morfología de la masticación: función y forma .....	13
2.1.5.2. Área De Contacto Durante La Masticación .....	13

2.1.5.3. Fuerzas Masticatorias.....	13
2.1.6. Deglución .....	14
2.1.7. Caries dientes posteriores .....	14
2.1.7.1. Cavity Clase I .....	14
2.1.7.2. Cavity Clase II .....	15
2.1.7.3. Clase V .....	15
2.1.8. Segundo Premolar Mandibular .....	16
2.1.8.1. Anatomía .....	16
2.1.8.2. Dimensiones .....	16
2.1.9. Resinas .....	17
2.1.9.1. Resinas Nanocompuestas F.....	17
2.1.9.2. Técnica Incremental .....	17
2.1.9.3. Resinas Bulk F.....	18
2.1.9.6. Técnica Bulk .....	19
2.1.10. Fotopolimerización .....	19
2.1.10.1. Contracción de polimerización y sellado marginal.....	19
2.1.11. Conceptos Elementos Finitos .....	21
2.1.11.2. Conceptos propiedades mecánicas.....	22
2.1.11.3. Factor de Seguridad (FOS): .....	23
<b>3. CAPÍTULO III. OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
3.1. Objetivo general.....	23
3.2. Objetivos específicos.....	23
3.3. Hipótesis .....	24
3.4 Hipótesis Nula .....	24
<b>4. CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODO .....</b>	<b>24</b>
4.1. Tipo de estudio.....	24
4.1.1. Transversal .....	24
4.1.2. Descriptivo .....	24
4.1.3. Comparativo.....	24
4.2. Enfoque de la investigación .....	25
4.3. Muestra .....	25

4.4. Definición de variables .....	26
4.4.1. Variables dependientes.....	26
4.4.2. Variables independientes.....	27
4.5. Criterios de inclusión .....	27
4.6. Criterios de exclusión .....	30
4.7. Materiales .....	30
4.8. Metodología .....	30
4.8.1. Modelado .....	31
4.8.1.1. Modelado de un diente premolar sano .....	31
4.8.1.2. Modelado de la cavidad.....	33
4.8.1.3. Modelado de las Restauraciones con Resina Compuesta y Bulk.....	33
4.8.2. Procedimiento de análisis de elementos finitos .....	37
4.8.2.1. Definición de las características del material de cada componente .....	37
4.8.2.2. Construcción del modelo .....	38
4.8.2.2.1. Definición de fuerza axial de 200 n en area funcional de masticación.....	40
4.8.2.2.2. Definición de fuerza axial de 200n en 5 puntos estables en cara oclusal producidos en deglución .....	41
4.8.2.2.3. Definición de fuerza tangencial de 600n en punto de contacto deflexivo (interferencia).....	41
4.8.3. Mallado.....	41
4.8.4. Solución del modelo.....	43
<b>5. CAPÍTULO V. RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
5.1. Análisis de resultados .....	44
<b>6. CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN .....</b>	<b>49</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
7.1. Conclusiones .....	57
7.2. Recomendaciones.....	58

REFERENCIAS.....	59
ANEXOS.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fuerzas masticatorias promedio.....	14
Tabla 2 Dimensiones promedio, segundo premolar inferior .....	16
Tabla 3 Número de muestras. Modelos I, II, III sometidos a 200 N o 600 N, dependiendo de la situación (masticación, deglución, deflexión).....	26
Tabla 4 Variables dependientes .....	26
Tabla 5 Variables independientes. ....	27
Tabla 6 Dimensiones de un segundo premolar inferior .....	27
Tabla 7 Dimensiones estructuras óseas.....	27
Tabla 8 Dimensiones de cavidad OD clase II.....	28
Tabla 9 Dimensiones restauración con resina compuesta (4 capas).....	28
Tabla 10 Dimensiones de restauración con resina Bulk (2 capas).....	28
Tabla 11 Propiedades mecánicas de los materiales. ....	38
Tabla 12 Coloración del premolar según resultados de Von Misses (pico máximo de estrés). ....	44
Tabla 13 Lugares donde pintan rojo y naranja, alta carga de estrés.....	45
Tabla 14 Sitios donde hay más probabilidad de falla (fractura).....	46
Tabla 15 Lugares donde pintan rojo y naranja, alta carga de estrés.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes que conforman el premolar restaurado con resina nanocompuesta, vista explotada. ....	32
Figura 2. Ensamble de todas las partes que conforman el premolar sano con transparencia. ....	32
Figura 3. Partes que conforman premolar con cavidad clase II, vista explotada. ....	33
Figura 4. Partes que conforman premolar restaurado con resina compuesta, vista explotada. ....	34
Figura 5. Ensamble de partes que conforman al premolar con restauración nanocompuesta, con transparencia. ....	35
Figura 6. Partes que conforman premolar con restauración Bulk, vista explotada. ....	36
Figura 7. Ensamble de las partes que conforman al premolar con restauración Bulk, con transparencia. ....	37
Figura 8. Asignación de propiedades mecánicas para cada elemento presente en los casos de estudio en el programa Solidworks. ....	38
Figura 9. Definición de carga, posición y restricciones dentro del área funcional (masticación a 200 N), en modelos I, II, III. ....	40
Figura 10. Definición de cargas, posición y restricciones en 5 puntos estables (deglución a 200 N), en modelos I, II, III. ....	41
Figura 11. Definición de cargas, posición y restricciones en un punto inestable (deflexión a 600 N), en modelos I, II, III. ....	42
Figura 12. Elementos triangulares de 3 nodos unidos entre si forman una malla. ....	43
Figura 13. Mallado con sus parámetros correspondientes a) Fuerza axial en área funcional, masticación a 200 N, b) Fuerza axial en 5 puntos de contactos estables, deglución a 200 N c) Fuerza horizontal en punto de contacto inestable, deflexión a 600 N. ....	43

## 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las resinas son materiales restauradores directos utilizados en dientes anteriores como en posteriores, gracias a su adecuado comportamiento mecánico. A pesar de los avances experimentales de los últimos años, existen aún complicaciones debido a la sensibilidad de la técnica (Corral et al., 2015).

La adaptación marginal es importante, la microfiltración es uno de los factores más influyentes en el fracaso de restauraciones de resina directas. Para lograr el éxito de las mismas, es vital mantener la integridad del sellado marginal, depende de la configuración de la cavidad, propiedades físico-mecánicas, elasticidad de los composites, adhesión, técnica de restauración y método de fotopolimerización (Costa et al., 2019).

Los problemas del sellado marginal se relacionan con la contracción de polimerización producida por el endurecimiento de los materiales al ser expuestos a la luz. Al endurecerse, se produce tensión en la interfaz restauración-diente, resultando en: posible agrietamiento, paso de bacterias, caries recurrentes o sensibilidad postoperatoria, reduciendo la longevidad de la restauración. Con el fin de reducir los efectos del estrés por contracción, se han desarrollado varios métodos como la técnica incremental y Bulk (García et al., 2019).

Las resinas compuestas convencionales deben colocarse en incrementos con un grosor máximo de 2 mm para efectivizar la conversión de monómeros a polímeros. Fotopolimerizar apropiadamente la zona más baja del incremento para lograr un sellado marginal efectivo. Lograr el sellado marginal es aún más crítico especialmente en el fondo de la caja proximal de restauración clase II, donde el acceso a la luz es limitado (Costa et al., 2019). En general, cuanto más extensa es una restauración, mayor es la susceptibilidad a fracturas no restaurables. Las restauraciones grandes requieren la colocación de varias capas de composite de 2 mm, lo que impone riesgos como la incorporación de



burbujas de aire, la contaminación y la falla de la unión entre las capas (Omran et al., 2019).

En un intento por simplificar la técnica incremental, acortando el tiempo, se ha introducido una nueva generación de resinas conocidas como "Resinas Bulk", las cuales tienen la capacidad de polimerización en espesores de 4–5 mm. Los fabricantes aseguran que cuenta con gran profundidad de curado por tener mayor translucidez, incluyeron nuevos fotoiniciadores en su composición. Se informa que las resinas Bulk fluidas (baja viscosidad) pueden tener una contracción de polimerización más baja, las mismas características que disminuyen el riesgo de crear burbujas, microfiltración, contaminación, etc. (Ryta et al., 2018).

García et al., en el 2019, menciona que las dos técnicas están indicadas para el sector posterior, pero tienen los mismos riesgos postoperatorios del área más crítica de las restauraciones que es el piso gingival, especialmente en la dentina que se encuentra debajo de la unión cemento-esmalte, donde los desprendimientos y las microfiltraciones son más frecuentes.

En el presente estudio se realizó el análisis del comportamiento biomecánico mediante elementos finitos (AEF) de premolares con cavidades clase II (OD) restaurados con técnicas Bulk e incremental respectivamente. Se evaluó en base a los siguientes factores: (I) Técnica: en Bulk se aplicó capas de 4 mm, en Incremental capas de 2mm. (II) Lugar y dirección del estrés: los dientes de este estudio fueron sometidos primero a una fuerza de masticación de 200 N en el área funcional de la cara oclusal; segundo a una fuerza de deglución de 200 N en cinco puntos de contacto estables de la cara oclusal y tercero a una fuerza de deflexión de 600 N solamente en un punto de contacto inestable, una interferencia en la cúspide estampadora (III) Influencia del grado de elasticidad de las dos resinas sobre la distribución de estrés en el diente y hueso.

## 1.1. Planteamiento del problema

Borgia et al., 2017, mencionan que las restauraciones directas de resina compuesta en dientes posteriores tienen una alta tasa de éxito clínico; consideran que las resinas son el material adecuado para restaurar preparaciones medianas, en algunas situaciones clínicas, preparaciones grandes, por estos beneficios los clínicos optan por este material. También hay autores como Opdam et al. (2014) que indican que a pesar de ser una excelente alternativa, a nivel mundial existe un alto índice de fracaso en restauraciones directas posteriores hechas con composites (principalmente clase II, las más grandes porque cada superficie incluida aumenta el riesgo en un 30% -40%); dualidad que hace imprescindible analizar los factores influyentes en la duración de estos tratamientos.

Moncada et al. (2007) asevera que las microfracturas en la interfaz diente resina, filtraciones, rupturas, desgaste en cara oclusal de la restauración, etc., son consecuencias del incorrecto manejo de la técnica de aplicación, adhesión, fotocurado, entre otros. La relevancia del presente estudio es aclarar la imagen general de uno de los factores que influyen en la longevidad de las restauraciones, la distribución de esfuerzos masticatorios a lo largo del diente restaurado con resina en base a sus características mecánicas. En el estudio de Opdam et al. (2014), se menciona que las resinas con más carga de relleno tienen un módulo elástico más alto, dando un mejor rendimiento en la distribución de estrés en áreas que soportan tensión.

Los estudios en base al análisis de distribución de esfuerzos en materiales resinosos son muy limitados. El planteamiento del problema del presente estudio parte del cuestionamiento cuál de las resinas entre nanocompuesta o Bulk, presenta valores menores de estrés en el diente y hueso frente a fuerzas de masticación, deglución y deflexión; de esta forma, al ser materiales que se usan diariamente a nivel mundial, el clínico puede optar por la mejor opción de resina para restaurar cavidades clase II que sean exitosas y duraderas (Opdam et al., 2014).

## 1.2. Justificación

Uno de los principales desafíos en la odontología es la selección del material biocompatible que reemplace la estructura dental alterada, debe soportar las condiciones del entorno oral. En los últimos años se ha visto la introducción y posterior retirada de numerosos materiales y técnicas insatisfactorias. Muchos dentistas consideran que las restauraciones en base a composites son la primera opción para restaurar lesiones cariosas no extensas (Srivastava et al., 2018).

Las resinas son los materiales restauradores directos más utilizados en dientes posteriores gracias a su adecuado comportamiento mecánico y a sus atractivas características estéticas. Los resultados a largo plazo dependen de la técnica (Corral et al., 2015).

La adaptación marginal evita la microfiltración, uno de los factores más influyentes en el fracaso de las restauraciones de resina. El éxito a largo tiempo del sellado marginal depende de varios factores como: la configuración de la cavidad, las propiedades físico-mecánicas, elasticidad de los composites, la técnica de restauración, el método de curado, adhesión, etc. (Guimaraes et al., 2018).

Asmussen et al. (2008) se preguntan si es preferible un módulo de elasticidad alto o bajo. Al ser alto, se ve en peligro la terminación marginal debido a la contracción de polimerización. Los estudios se inclinan a que el módulo debe ser bajo para reducir el riesgo de formar filtraciones. Sin embargo, una vez que la restauración se ha polimerizado, las tensiones en las áreas marginales pueden ser generadas por la carga oclusal. Como consecuencia, la integridad marginal puede estar en riesgo. En esta situación, se ha argumentado que el módulo debe ser alto como para resistir las deformaciones inducidas por las fuerzas masticatorias, pero existen pocas investigaciones sobre las cuales basar este argumento.

Las restauraciones se enfrentan a diferentes circunstancias en la cavidad oral. La presencia de cambios térmicos, diferentes cargas masticatorias interfieren en su durabilidad (Srivastava et al., 2018).

En base a todos los problemas antes mencionados, el enfoque de este estudio está en comprobar que, ante tres situaciones que los humanos efectuamos diariamente (masticación, deglución, deflexión), la resina Bulk presenta valores menores de fatiga a largo del diente y hueso, especialmente en una zona crítica que es el sellado marginal. Como operadores se debe proteger la integridad de las restauraciones que a diario realizamos en nuestras consultas. A través de esta investigación se aportará al operador una mayor seguridad al momento de elegir el material resinoso y su respectiva técnica.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Oclusión**

#### **2.1.1. Referente histórico de modelos de oclusión**

En el siglo XX, fueron Bonwill & Gysi quienes inician el interés por el tema del equilibrio y la estabilidad oclusal. Estudiaron los movimientos laterales de la mandíbula en pacientes con prótesis total, "Oclusión bilateral balanceada". McLean (1938), apoyó este esquema en dentición natural. MacMillan (1930), cambió este modelo hacia una "Oclusión de Grupo". Stuart & Golden (1963) describieron como "Oclusión Orgánica" a las relaciones dentales intermaxilares. En los 80's existieron muy pocas modificaciones conceptuales, se basan en la filosofía de MacMillan, aumentando conceptos de protección canina de D'Amico, alegó que el contacto de los caninos inhibe la actividad muscular en el cierre masticatorio. Esta escuela concretó el actual modelo de "Oclusión Mutuamente Protegida" (dientes anteriores guían a la mandíbula en recorrido excéntrico, protrusivo, impidiendo los contactos e interferencias en dientes posteriores. Tipton & Rinchuse (1991), Woda (2005), manifiestan que la

“Oclusión Bilateral Balanceada” (OBB) es la realidad de la mayoritaria de la población dentada, la oclusión de protección canina de la oclusión mutuamente protegida y la oclusión en grupo raramente existen (Ramirez et al., 2012).

### **2.1.2. Componentes anatómicos de la oclusión**

Los cuatro determinantes anatómicos de la oclusión son las articulaciones temporomandibulares derecha e izquierda, la oclusión de los dientes naturales y el sistema neuromuscular compuesto por el cerebro, los músculos de la masticación, y la inervación correspondiente que da las órdenes y recibe la información en todos los movimientos mandibulares, como masticar, chupar, tragar, hablar, etc (Huete, 2007).

### **2.1.3. Oclusión Ideal - Orgánica**

Alonso et al. (2003) define a la oclusión orgánica como una oclusión estable. Un sistema masticatorio adecuado debe cumplir con los siguientes parámetros:

1. Presencia de unidades de oclusión.
2. Oclusión en Relación Céntrica
3. Desoclusión: guías anteriores y alineación tridimensional.
4. Oclusión mutuamente protegida.

La oclusión “normal” ha sido un referente para obtener un diagnóstico y plan de tratamiento, este concepto de normalidad se ha confundido con lo que hoy llamamos oclusión “ideal” descrita por Hunter ya en el siglo XVIII. Las alteraciones de la oclusión ideal son consideradas como maloclusión (Talley et al., 2007).

Marquez et al. (2008) define a una oclusión ideal o estable a la que menos patologías oclusales provoca a largo plazo. Una oclusión mutuamente protegida, con guías canina en laterotrusión y anterior en protrusión, la máxima

intercuspidación en relación céntrica condilar (posición más fisiológica de los cóndilos) son aspectos que conforman una oclusión estable.

#### **2.1.3.1. Oclusión dentaria**

Ferro et al. (2017) definen a la oclusión dentaria como aquella relación de contacto funcional entre las piezas dentarias de ambos maxilares como resultado de la actividad neuromuscular mandibular.

Los dientes están sometidos a mayores fuerzas en tres situaciones: deglución, masticación y parafunción (Srivastava et al., 2018).

#### **2.1.3.2. Alineación dentaria**

La alineación de los dientes es importante en las actividades básicas de la masticación, la deglución y la fonación. Cada diente ocupa un lugar en la arcada según su función y su capacidad anatómica de absorber fuerzas masticatorias. Los dientes posteriores poseen 4 niveles de oclusión: elevaciones (topes cuspídeos y rebordes marginales) y depresiones (surcos, fosas). En los rebordes marginales descansa la oclusión. La geografía dental se compone por zonas sobresalientes filosas, prominentes relieves y profundas depresiones. Sus rebordes, lomos, surcos principales y accesorios, vertientes y contactos interproximales son formas que facilitan la molienda y evacuación interdental eficiente de un bolo alimenticio repetidamente aplastado por los ciclos masticatorios (Alonso et al., 2003) (Ramirez et al., 2012)

#### **2.1.3.3. Máxima Intercuspidación (MIC)**

Contacto intercuspídeo de los dientes con sus antagonistas, independiente de la posición condilar, durante la deglución, los dientes se colocan en máxima intercuspidación, se estabiliza la mandíbula colocándose hacia una posición algo posterior (Maldonado et al., 2015; Okeson, 2008).

#### **2.1.3.4. Relación Céntrica (RC)**

Posición mandibular estable, repetible, referencial por ser la única relación reproducible. Es la posición más fisiológica cuando los cóndilos se encuentran en su eje terminal de bisagra dentro de la cavidad articular del hueso temporal, aquella en la que se da un eje de rotación pura. La Oclusión en Relación Céntrica es el punto de partida y llegada de los movimientos mandibulares (Alonso et al., 2003; Huete, 2007; Maldonado et al., 2015).

#### **2.1.3.5. Oclusión Céntrica (OC)**

Es la oclusión dental con cóndilos en relación céntrica, puede o no coincidir con la máxima intercuspidad (Maldonado et al., 2015).

#### **2.1.3.6. Contactos Interoclusales**

Las contenciones céntricas se posicionan en dos áreas totalmente diferentes. Supracontacto va desde el contacto hasta la punta cuspídea, se relaciona con la desoclusión o parafunción. Infracontacto va desde el contacto hasta las fosas o surcos, se relaciona con la función masticatoria (Alonso et al., 2003).

Los contactos interoclusales se clasifican según su forma de relación con su par oclusal (cúspide/reborde). Las relaciones de contacto de las unidades de oclusión son: Cúspides de Corte (vestibulares superiores y linguales inferiores), Cúspides Estampadoras (palatinas superiores y vestibulares inferiores) (Alonso et al., 2003).

Las cúspides estampadoras tienen dos contactos necesarios para la estabilidad en sentido vestibulopalatino (puntos A + B o B + C), el contacto B es fundamental y necesario para mantener la estabilidad vestibulopalatina (Alonso et al., 2003).

### **2.1.3.7. Desoclusión**

Alonso et al. (2003) define a la desoclusión como la separación de las caras oclusales de los dientes posteriores. Se basa en el principio de oclusión mutuamente protegida, un grupo anterior (caninos o incisivos) entran en contacto durante las excéntricas y produce la desoclusión de los dientes posteriores.

### **2.1.3.8. Guías anteriores**

Un sistema masticatorio funcionalmente estable cuenta con dos guías anteriores. La Guía Protrusiva es el grupo integrado por los incisivos superiores e inferiores (desoclusión anterior). Guía Canina, el tope de los caninos permite los movimientos de lateralidad, aportando a la protección en grupo y esquivando las interferencias (Brunet et al., 2016).

### **2.1.3.9. Alineación Tridimensional**

La alineación tridimensional es la ubicación correcta de los dientes, de sus ejes, de sus raíces en los tres planos del espacio, permitiendo una mejor función biomecánica, absorción de las fuerzas durante la función, la ausencia de interferencias, oclusión con desoclusión. Recordemos que siempre puede haber una oclusión, pero no siempre está presente la desoclusión. Las curvas de Wilson y Spee son factores importantes que colaboran con una desoclusión correcta (Alonso et al., 2003).

### **2.1.3.10. Curvas Wilson y Spee**

La curva de Spee es una línea imaginaria que va desde los incisivos hacia los molares desde una mirada en vestibular. La curva de Wilson está dada por una inclinación lingual de los dientes inferiores posteriores. Cuando los dientes están desalineados o las curvas de Wilson y Spee no están presentes se producen interferencias (Huete, 2007).



#### **2.1.3.11. Oclusión Mutuamente Protegida**

Una manera de protección para el sistema masticatorio es la oclusión mutuamente protegida. El contacto de los dientes posteriores protege a los anteriores durante el cierre y los anteriores protegen a los posteriores durante los movimientos excéntricos. En dientes posteriores alineados, con una guía anterior eficiente, al ocurrir los movimientos excéntricos, solo existe proximidad entre antagonistas, si contactan entre ellos, estos topes se vuelven interferencias (Alonso et al., 2003; Ferro et al., 2017).

#### **2.1.4. Maloclusión**

Según Ferro et al. (2017), maloclusión es cualquier desviación de un contacto fisiológicamente aceptable entre el diente y su antagonista, es cualquier desviación de una oclusión normal.

Cuando existe migración vestibular de los dientes inferiores, se pierde los contactos A, B, C (tripoidismo), deja de ser una zona estable de puntos de contacto y pasa a ser un plano inclinado, soportando una mayor carga masticatoria. En presencia de abrasiones, la pérdida de los cuatro niveles de oclusión, hace que las cúspides linguales se queden altas, verdaderas superficies que también se comportan como planos inclinados. Se agrava la situación si no existe una correcta guía anterior, lo cual resultará en interferencias, provocando desgaste o movimiento de las piezas posteriores (Alonso et al., 2003).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las maloclusiones ocupan el tercer lugar como problemas de salud oral, no ponen en riesgo la vida del paciente, pero su prevalencia e incidencia, son consideradas un problema de salud pública (Talley et al., 2007).

La maloclusión dificulta la función de los dientes, probablemente impide la comodidad física o emocional del paciente. La maloclusión compromete la

salud de la cavidad oral, provoca problemas sociales en los pacientes afectados (Okoye et al., 2020).

Ramírez et al. (2012) mencionan que las maloclusiones generan patologías o por lo menos impedimentos funcionales, tópico sobre el que no hay evidencia científica que corrobore de manera seria tal afirmación. Normal, significa ausencia de enfermedad, normalidad, en un sistema biológico es una condición fisiológica de adaptación. La mayoría de la población presenta maloclusión, al generalizar el prefijo “mal”, deja implícito un mal funcionamiento que probablemente no sea real y que clasifica cualquier condición clínica como patológica, lo más seguro es que la población entera estaría enferma sin estarlo.

#### **2.1.4.1. Clasificación de Angle**

Un sistema para clasificar la oclusión basándose en la intercuspidación de los primeros molares permanentes (Ferro et al., 2017).

##### **2.1.4.1.1. Clase I (Neutro-Oclusión)**

Relación dental anteroposterior normal de la mandíbula en relación al maxilar. La cúspide mesiobucal maxilar del primer molar permanente ocluye con el surco del primer molar permanente mandibular. La punta del canino maxilar ocluye entre el canino inferior y primer premolar mandibular. Presencia de apiñamiento y rotación de dientes en otros lugares por displasia dental o deficiencia de la longitud del arco (Ferro et al., 2017; Okoye et al., 2020).

##### **2.1.4.1.2. Clase II (Disto-Oclusión)**

La relación dental mandibular está posterior al maxilar. La cúspide mesiobucal del primer molar maxilar permanente ocluye adelante del surco vestibular del primer molar inferior. El canino maxilar ocluye delante entre el canino y primer premolar inferior (Ferro et al., 2017; Okoye et al., 2020).

Clase II División 1: retrusión distal bilateral, maxilar estrecho e incisivos superiores sobresalientes (Ferro et al., 2017; Okoye et al., 2020).

Clase II División 2: retrusión distal bilateral, maxilar normal o cuadrado, incisivos centrales superiores retruído (Ferro et al., 2017; Okoye et al., 2020).

#### **2.1.4.1.3. Clase II (Mesio-Oclusión)**

La relación dental mandibular está anterior al maxilar en uno o ambos lados. La cúspide mesiobucal maxilar del primer molar maxilar ocluye atrás del surco bucal del primer molar inferior. La punta del canino maxilar ocluye posteriormente a la unión entre el canino y primer premolar inferior (Okoye et al., 2020).

#### **2.1.4.2. Interferencia Oclusal**

Según el Glosario de Prostoncía, una interferencia es cualquier contacto dental que impide los contactos de las superficies de oclusión restantes, no permiten lograr contactos estables y armoniosos (Ferro et al., 2017).

#### **2.1.4.3. Deflexión**

Una interferencia desvía a la mandíbula del trayecto, se crea un desplazamiento hacia excéntrica. Los impactos axiales en dientes anteriores, horizontales en dientes posteriores producen rupturas o movimiento de los mismos debido al continuo choque de fuerzas inapropiadas (Alonso et al., 2003; Ferro et al., 2017).

## **2.1.5. Masticación**

### **2.1.5.1. Morfología de la masticación: función y forma**

La ingesta del alimento es un ciclo sistemático, comienza por el corte y/o trituración de la comida, siendo esta destruida, aplastada, molida en las superficies duras de los dientes. El alimento también es deformado entre estructuras blandas (lengua, paladar, músculos bucinadores, orbicular de los labios, palatogloso y palatofaríngeo), encargadas de impulsar el bolo aplastado en cada golpe masticatorio. La saliva convierte al bolo en un cuerpo laxo, pegajoso, manejable para efectuar la deglución (Ramírez et al., 2012).

### **2.1.5.2. Área De Contacto Durante La Masticación**

Al colocar el alimento en la boca los dientes no entran en contacto, a medida que el alimento se fragmenta los dientes van contactando en mayor cantidad.

### **2.1.5.3. Fuerzas Masticatorias**

En la cavidad bucal, el diente y su restauración en el caso de tenerla, están sujetos principalmente al estrés mecánico generado durante la función y parafunción. Los dientes están sometidos a fuerzas en tres situaciones: deglución, masticación y parafunción. En la Tabla. se describen algunas cantidades en kg de fuerza que los humanos efectuamos comúnmente (Srivastava et al., 2018).

Los dientes posteriores son capaces de absorber fuerzas axiales, fuerzas hacia abajo a lo largo del eje del diente. Los dientes anteriores son capaces de absorber fuerzas horizontales emitidas a lo ancho del diente provenientes de las lateralidades o protrusiva (Ferro et al., 2017).

Tabla 1  
*Fuerzas masticatorias promedio*

<b>Mujer</b>	35.8 – 44.9 kg
<b>Hombre</b>	53.6 – 64.4 kg
<b>Fuerza masticación durante trituración de alimentos</b>	26,6 kg
<b>Deglución</b>	29 kg
<b>Parafunción</b>	36, 24 kg, 54,36, 113.25 kg

Tomado de: (Okeson et al., 2008)

### 2.1.6. Deglución

Hay contacto entre dientes antagonistas al tragar saliva o cuando en bolo está completamente fragmentado para proceder a la deglución.

### 2.1.7. Caries dientes posteriores

La caries dental es un proceso infeccioso que causa el desvanecimiento de la hidroxiapatita del diente. Este proceso se debe principalmente a la degradación ácida de las estructuras dentales. Para detener la progresión de esta enfermedad, el tejido infectado debe eliminarse y reemplazarse con un material de relleno. Las cavidades son el resultado de la remoción de caries. Las lesiones cariosas posteriores se clasifican en clase I, II, V según su ubicación (Scribante et al., 2018).

#### 2.1.7.1. Cavidad Clase I

Una cavidad clase I es aquella que elimina menos de 1.5 - 2 mm de tejido de cúspides y rebordes. En las cavidades clase I el estrés de la interfaz diente-resina es bajo por haber tensiones de contracción muy pequeñas (Jyothi et al., 2017).

### **2.1.7.2. Cavidad Clase II**

De acuerdo con el Sistema Internacional de Detección y Evaluación, cavidad tipo II es el resultado de eliminación de caries proximales que pueden extenderse hasta dentina, puede llegar a tener contacto con pulpa (Akman et al., 2020).

El éxito clínico de las restauraciones directas clase II en dientes posteriores, habitualmente creadas con compuestos a base de metacrilato, resinas, depende de la calidad de la adhesión y la adaptación del material a las paredes de la cavidad (Costa et al., 2019).

Un buen sellado marginal es aún más crítico en el fondo de una caja proximal de una gran restauración de Clase II, donde el acceso a la luz es limitado. Cuanto más extensa es una restauración, mayor es la susceptibilidad a fracturas no restaurables. Las restauraciones grandes requieren la colocación de varias capas de composite de 2 mm, imponiendo riesgos como la incorporación de burbujas de aire, contaminación, la falla de la unión entre las capas, entre otros (García et al., 2019; Tarek et al., 2019).

### **2.1.7.3. Clase V**

Lesiones cervicales producidas por caries de la infancia, caries en la adultez o erosión. Presentan un desafío especial para cualquier dentista pediátrico y restaurador. El material restaurador generalmente debe adherirse a la dentina o al cemento en el margen cervical de una cavidad de clase V (Nematollahi et al., 2017).

## 2.1.8. Segundo Premolar Mandibular

### 2.1.8.1. Anatomía

Un segundo premolar inferior intacto tiene una forma de transición de canino a molar; al ser un diente posterior se puede analizar el estrés y la capacidad de cargas masticatorias (Srivastava et al., 2018).

El espacio pulpar es más amplio en sentido vestibulo-lingual. La raíz es única, y cónica hasta su ápice agudo. El foramen apical se desvía del ápice hacia distal. La incidencia de dos o más raíces es de 0,4%. La incidencia de dos o más conductos es del 9% (Cardona et al., 2015).

### 2.1.8.2. Dimensiones

Ingle et al, (1996) menciona que un segundo premolar inferior, comúnmente tiene las siguientes dimensiones:

Tabla 2  
*Dimensiones promedio, segundo premolar inferior*

Dimensiones	
Altura total	22 mm
Altura corona clínica	8 mm
Altura raíz	14 mm
Ancho vestibulo-lingual corona clínica	8 mm
Ancho mesio-distal corona clínica	7 mm

Tomado de: (Ingle et al., 1996)

En los premolares prevalecen las formas de empotramiento en acho, el grosor de la superficie oclusal y su raíz, una adecuada disposición de los ejes dentarios, permite una absorción más fácil de las fuerzas axiales generadas por los músculos masticatorios. Es una ampliación del principio de la oclusión mutuamente protegida. Las fuerzas horizontales producidas por una

interferencia crean un sobreesfuerzo, por su estructura y posición en la boca, el premolar no es capaz de absorber fuerzas de lateralidad, lo rompe o lo mueve (Alonso et al., 2003).

## **2.1.9. Resinas**

### **2.1.9.1. Resinas Nanocompuestas F**

Las resinas son los materiales restauradores directos más utilizados en dientes posteriores gracias a su adecuado comportamiento mecánico y a sus atractivas características estéticas (Corral et al., 2015).

Las resinas generalmente consisten en una matriz de resina orgánica, un refuerzo inorgánico de relleno, silano que es un agente de unión del relleno con la matriz de resina. La matriz polimerizable contiene uno o más monómeros base, dimetacrilato de bisfenol A glicol (BisGMA), dimetacrilato de uretano (UDMA), diluyentes como dimetacrilato de etilenglicol (EGDMA), dimetacrilato de dietilenglicol (DEGDMA), trietileno dimetacrilato de glicol (TEGDMA), varios aditivos como fotoiniciadores, coiniciadores, inhibidores de la polimerización (Ryta et al., 2018).

Los compuestos a base de resina han evolucionado significativamente. Han mejorado su resistencia al desgaste, disminuyendo la contracción por fotopolimerización (Ryta et al., 2018).

### **2.1.9.2. Técnica Incremental**

Las resinas son materiales que se colocan con incrementos de hasta 2 mm, permitiendo suficiente penetración de luz, logrando una correcta polimerización, propiedades físicas y mecánicas ideales (Costa et al., 2019).

La adaptación marginal evita la microfiltración, uno de los factores más influyentes en el fracaso de las restauraciones de resina. El éxito a largo tiempo



del sellado marginal depende de varios factores como: la configuración de la cavidad, las propiedades físico-mecánicas, elasticidad de los composites, la técnica de restauración, el método de curado, adhesión, etc. (Guimaraes et al., 2018).

El principal efecto nocivo de este proceso de conversión es la contracción del material por la fotopolimerización. Puede conducir a defectos en la interfase, fracturas del esmalte, microgrietas, etc. El control del estrés por contracción en materiales dentales, es esencial para garantizar la integridad del margen y longevidad de la restauración (Costa et al., 2019).

La técnica incremental minimiza la contracción de polimerización debido a la disminución del Factor C durante la polimerización de cada capa. Este método tiene desventajas, como la posibilidad de incorporar huecos de aire o contaminación entre capas, lo que resultaría en una falla en la unión entre incrementos. El tiempo requerido para colocar y polimerizar cada capa es más larga en comparación a una técnica Bulk (Costa et al., 2019).

### **2.1.9.3. Resinas Bulk F**

Las resinas Bulk aparecieron en base a las falencias de las propiedades mecánicas de las resinas convencionales, su alta contracción de polimerización no permite su uso en capas gruesas, consumiendo mucho tiempo (Ryta et al., 2018).

Las Bulk cuentan con rellenos inorgánicos, su alta rigidez, dureza, bajo coeficiente de expansión térmica, baja contracción por polimerización, son propiedades deseables en una resina. Al igual que las resinas convencionales, el estrés por contracción se considera una causa principal de sensibilidad postoperatoria y filtraciones marginales (Nur et al., 2014).

Tiene una incorporación de rellenos bioactivos. En base a las propiedades mecánicas, es bajo en fluidez y de alta viscosidad. En sus propiedades físico

mecánicas, tienen un rango aceptable de deformación y recuperación de fluencia (Ali et al., 2018; Furness et al., 2014; Ilie, 2017),

#### **2.1.9.6. Técnica Bulk**

Una razón para el uso de técnica Bulk es el ahorro de tiempo en comparación con la técnica de estratificación. Esta nueva categoría de composites cuentan con modificaciones químicas, creando menor contracción de polimerización, menor estrés, se aplican en forma de relleno con una sola capa de 4 a 5 mm de espesor sin necesidad de aumentar el tiempo de exposición a la fotopolimerización. La integridad marginal no se ve afectada por el método de colocación. Permite una reducción significativa en el tiempo requerido para realizar una restauración (Ali et al., 2018; Costa et al., 2019).

#### **2.1.10. Fotopolimerización**

La fotopolimerización es una reacción química en la que los fotones activan un iniciador, la alcanforquinona de los composites, que reacciona en presencia de una amina alifática, uretano oligómero de dimetacrilato, copolímero acrílico (Ferro et al., 2017).

##### **2.1.10.1. Contracción de polimerización y sellado marginal**

Los problemas de sellado marginal están estrechamente relacionados con la contracción de polimerización al colocar luz para fotocurar los materiales resinosos. Se produce tensión en la interfaz entre la restauración-diente, un posible agrietamiento, paso de bacterias que producirán caries recurrentes o sensibilidad postoperatoria, reducirá la longevidad de la restauración (García et al., 2019).

A pesar de los avances que se han dado en las resinas, los problemas de contracción persisten, causando microfiltraciones en la interfaz adhesiva,

dañando la estética y funcionalidad de restauración. La contracción por polimerización puede comprometer la longevidad de las restauraciones (Guimaraes et al., 2018; Kruly et al., 2018).

La microfiltración se da en la separación entre material restaurador y diente, causando recidiva de caries e hipersensibilidad en la dentina debido al paso de bacterias y sus productos a través de la interfaz (restauración-diente), es una de las principales razones por las que fallan las restauraciones (Costa et al., 2019).

La contracción en las restauraciones de resinas durante la polimerización es un proceso físico y químico. Las relaciones entre estos factores y las fuerzas de contracción han sido ampliamente estudiadas, con el objetivo de minimizar las tensiones de contracción en las restauraciones dentales. Los compuestos dentales de baja contracción no siempre producen menores tensiones, se debe a que su alto contenido de carga inorgánica. Aunque es capaz de reducir la contracción, produce un módulo de elasticidad alta que puede dar como resultado un aumento de las tensiones. La reducción del tiempo o intensidad de irradiación producirá menor contracción en la restauración, también conduce a un menor grado de fotopolimerización, menor dureza. La baja contracción, la baja viscosidad inicial y la alta dureza final se consideran las características ideales de los composites dentales, no podemos lograr obtener todos al mismo tiempo (Li et al., 2008).

Se han realizado intentos clínicos para reducir la contracción mediante el uso de diversas técnicas de relleno, la técnica oblicua de llenado incremental. Los estudios han demostrado que el curado con luz de alta intensidad aumenta la contracción por polimerización. Se recomiendan las técnicas de curado en rampa. Desafortunadamente ninguno de estos métodos ha eliminado por completo la contracción de la polimerización y sus consecuencias adversas (Dejak et al., 2015).

### 2.1.11. Conceptos Elementos Finitos

El FEAP ( Finite Element Analysis Program) se originó durante la década de 1940 en el área de la ingeniería aeronáutica y su uso generalizado en los campos de la medicina y la odontología para analizar el comportamiento mecánico de las estructuras dentales (Srivastava et al., 2018).

La investigación de elementos finitos es un método numérico útil aplicado a la resolución de problemas con la mecánica de sólidos, simula propiedades y características de estructuras de manera in vitro por medio de un software computarizado 3D, además esta técnica permite predecir la reacción de una estructura frente a fuerzas, calor, vibración, circulación de fluidos, entre otros estímulos reales. Este tipo de estudio, a la vez, permite la repetitividad y pueden ser modificados y diseñados según los requerimientos. Entre las limitaciones de los elementos finitos es que este es un método que no tiene resultados exactos, sino un aproximado, también tiene ser complementado con un estudio clínico y no siempre se podrá replicar de la misma forma (Hernández et al., 2016; Trivedi, 2014).

La biomecánica de las estructuras se maneja distintas a la realidad, como isotrópicas y elásticas en forma lineal, lo que por lo general los resultados son cualitativos.

En la metodología de elementos finitos se modela tridimensionalmente la estructura que se desea estudiar, esta debe ser precisa ya que de esto depende la calidad de los resultados del análisis. Además, se debe agregar las propiedades de los materiales que van a ser analizados y también de los dientes, hueso, se programa el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson (Asmussen et al., 2018; Ferro et al., 2017). Luego se subdivide una estructura sólida en pequeñas fracciones (varios elementos finitos), estos pueden tener distintas formas geométricas que se juntan con otro para formar una estructura (Srivastava et al., 2018), se interconectan entre sí por medio de nodos.

Virtualmente se coloca el golpe, es decir la fuerza con la que se impacta (expresada en Newton) sobre el modelo, con dirección, magnitud (cantidad) y ubicación previamente programada. Las estructuras de los modelos se comportan como materiales elásticos, durante este análisis, se observan los cambios que se presentan a lo largo de toda la deformación de los mismos y se determina el comportamiento de las tensiones y deformación creadas sobre los modelos en el que los desplazamientos en el interior de cada estructura que se expresan en función de los desplazamientos nodales, es decir de los desplazamientos que sufren los nudos de cada estructura, determinando de esta forma las deformaciones y tensiones en su interior (Kuramochi y Del Sol, 2013). Finalmente se obtienen resultados numéricos, que es el esfuerzo de Von Misses (Megapascuales), que resulta de la ejecución de la fuerza sobre la superficie (Megapascuales =  $N/m^2$ ) (Srivastava et al., 2018).

#### **2.1.11.2. Conceptos propiedades mecánicas**

##### **Módulo de elasticidad**

Es la capacidad elástica que tienen los compuestos. El principal factor para determinar la magnitud del módulo es el contenido de relleno. A medida que el módulo de elasticidad aumenta, el material se vuelve más rígido (Asmussen et al., 2018; Ferro et al., 2017).

##### **Coefficiente de Poisson**

Es una porción adimensional, indicativa de la deformación de una parte de la estructura ante la aplicación de un esfuerzo, relación de la deformación perpendicular a la axial, es una característica de cada uno de las estructuras (Asmussen et al., 2018; Ferro et al., 2017).

### **2.1.11.3. Factor de Seguridad (FOS):**

El factor de seguridad (Failure Of Security) es la relación entre el esfuerzo que puede soportar un material sobre el esfuerzo que se aplica a ese material o esfuerzo admisible, por este motivo es un valor adimensional (que no tiene unidades) por que al momento de realizar la división se anulan las unidades de esfuerzo y dando como resultado un valor netamente numérico. Para esta teoría nos dice que si el valor del FDS (factor de Seguridad) es menor que 1.23 hay la tendencia que el material esté sometido a demasiados esfuerzos y es posible que falle o se fracture (intervienen muchos factores para poder determinar si falla o no un material, eso se definirá en la interpretación de los resultados más adelante) y si es mayor a este valor no va a fallar o no va a tener concentración de esfuerzos.

## **3. CAPÍTULO III. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo general**

- Comparar la distribución de estrés en dientes premolares inferiores con cavidades OD Clase II, restaurados con resina convencional técnica incremental, técnica directa con resina Bulk, mediante análisis por elementos finitos.

### **3.2. Objetivos específicos**

- Comprobar la influencia del tipo de material/técnica, sobre la resistencia a la fractura en el diente, especialmente en la zona del sellado marginal y tercio cervical (cuello dental).
- Medir la distribución de estrés del premolar en tres situaciones oclusales: masticación, deglución y deflexión.

### **3.3. Hipótesis**

Existe una mejor distribución de estrés en los premolares restaurados con técnica Bulk en comparación con los premolares restaurados con técnica incremental.

### **3.4 Hipótesis Nula**

No existen diferencias significativas en la distribución de estrés entre los premolares restaurados con técnica Bulk y técnica incremental.

## **4. CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODO**

### **4.1. Tipo de estudio**

#### **4.1.1. Transversal**

La investigación se realizó en un solo momento, es decir que no tiene continuidad en el eje del tiempo.

#### **4.1.2. Descriptivo**

En este estudio se describen los valores numéricos y se observa minuciosamente las imágenes de la distribución de los diferentes tipos de fuerzas sobre los premolares, las cuales se obtienen del software para elementos finitos

#### **4.1.3. Comparativo**

Se hace un análisis y comparación entre los resultados obtenidos.

## 4.2. Enfoque de la investigación

Dado que se busca comprobar la hipótesis previamente establecida, así como los objetivos trazados, el presente trabajo será elaborado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo.

## 4.3. Muestra

a. Se elaboraron 3 modelos virtuales en 3D:

**Modelo I:** segundo premolar mandibular sano, anclado a su hueso cortical y esponjoso.

**Modelo II:** segundo premolar mandibular con cavidad OD clase II, restaurado con resina nanocompuesta (Filtek Z250; 3M ESPE, MN, EUA) anclado a su hueso cortical y esponjoso.

**Modelo III:** segundo premolar mandibular con cavidad OD clase II restaurado con resina Bulk (Filtek Bulk Fill, 3M-ESPE, MN, EUA) nclado a su hueso cortical y esponjoso.

b. Los modelos (I, II, III) fueron sometido a tres situaciones distintas:

**1. Masticación:** fuerza axial de 200 N fue aplicada en el área funcional de las caras oclusales de los modelos I, II y III.

**2. Deglución:** fuerza axial de 200 N fue aplicada de 5 puntos estables de las caras oclusales de los modelos I, II y III.

**3. Deflexión:** fuerza horizontal de 600 N fue aplicada en solamente 1 punto de la cúspide vestibular de los modelos I, II y III.



En total se obtuvieron 9 muestras:

Tabla 3

Número de muestras. Modelos I, II, III sometidos a 200 N o 600 N, dependiendo de la situación (masticación, deglución, deflexión).

Número de muestras	Modelo	Estado del diente	Situación de Contacto	Dirección Carga	Cantidad Carga
1 2 3	I	Sano	Masticación Deglución Deflexión	Axial Axial Horizontal	200 N 200 N 600 N
4 5 6	II	Restaurado con Bulk	Masticación Deglución Deflexión	Axial Axial Horizontal	200 N 200 N 600 N
7 8 9	III	Restaurado con Nanocompuesta	Masticación Deglución Deflexión	Axial Axial Horizontal	200 N 200 N 600 N

#### 4.4. Definición de variables

##### 4.4.1. Variables dependientes.

Tabla 4

Variables dependientes

VARIABLE	ESPECIFICACIÓN	TIPO DE VARIABLE
<b>Estructuras dentales y óseas (Objeto de estudio)</b>	Hueso cortical, hueso esponjoso, esmalte, dentina, pulpa.	<b>Dependiente/ Cualitativa</b>
<b>Lugar de contactos oclusales (Dependientes de la situación)</b>	-Masticación: área funcional de la cara oclusal. -Deglución: cúspide estampadora, cúspide corte y reborde marginal distal. -Deflexión: cúspide estampadora.	<b>Dependiente/ Cuantitativa</b>
<b>Cantidad de contactos oclusales (Dependientes de la situación)</b>	-Masticación: área es la suma de varios puntos unidos) -Deglución: 5 puntos de contacto estables -Deflexión: 1 punto de contacto inestable	<b>Dependiente Cuantitativa /</b>

#### 4.4.2. Variables independientes

Tabla 5  
*Variables independientes.*

Variable	Especificación	Tipo de variable
<b>Fuerzas masticatorias:</b>	- 200N - 600N	<b>Independientes / Cuantitativa</b>
<b>Resinas</b>	-Filtek Bulk Fill, 3M-ESPE, MN, EUA. -Filtek Z250; 3M ESPE, MN, EUA	<b>Independientes / Cualitativas</b>

#### 4.5. Criterios de inclusión

1. Que, los segundos premolares inferiores sanos tengan las siguientes medidas:

Tabla 6  
*Dimensiones de un segundo premolar inferior*

Altura total	22 mm
Altura corona clínica	8 mm
Altura raíz	14 mm
Ancho vestíbulo-lingual corona clínica	8 mm
Ancho mesio-distal corona clínica	7 mm

Tomado de: (Ingle et al., 1996)

1. Que, sus estructuras óseas tengan las siguientes medidas:

Tabla 7  
*Dimensiones estructuras óseas*

Hueso cortical	A 1 mm del límite amelocementario
Hueso esponjoso	Rodea la raíz, por debajo del hueso cortical

Tomado de: (Ingle et al., 1996)

1. Que, las medidas de cavidad OD clase II sean las siguientes:

Tabla 8

*Dimensiones de cavidad OD clase II*

Caja proximal	
piso	2 mm
Pared	2 mm
Caja oclusal	
piso	1 mm
Pared	4.5 mm
Ancho	
Linguo – Palatino	4 mm
Disto Oclusal	3 mm
Altura total (caja oclusal + caja proximal)	6.5 mm

1. Que, la restauración con resina nanocompuesta tenga las siguientes medidas:

Tabla 9

*Dimensiones restauración con resina compuesta (4 capas)*

Altura primera capa	Desde piso caja proximal, 2 mm hacia arriba
Altura segunda capa	Desde piso caja oclusal, 2 mm hacia arriba
Altura tercera capa	Desde terminación de segunda capa, 1.5 mm hacia el límite del reborde marginal y 2mm hacia arriba
Altura cuarta capa	Desde la terminación de la tercera capa, 0.5 mm hacia la terminación de la inclinación cúspide vestibular.

2. Que, las medidas de la restauración con resina Bulk sean las siguientes:

Tabla 10

*Dimensiones de restauración con resina Bulk (2 capas)*

Altura primera capa	Desde piso caja proximal, hasta (1,5)-(2)-(2,5) mm antes del punto más alto de la cúspide vestibular
Altura segunda capa	Desde la terminación de la primera capa, a 1.5mm del límite del reborde marginal, 2mm y 2.5 mm del borde de la inclinación de la cúspide vestibular.

1. Que, al simular masticación, se debe imitar una oclusión estable (en toda el área funcional):
  1. Alineación dentaria.
  2. Alineación tridimensional (no interferencias).
  3. Mayor área de carga en cúspide estampadora (cúspide vestibular) que en la de corte (cúspide lingual).
  4. Las cargas se aplicaron verticalmente.
  
1. Que, al simular deglución, se debe imitar una oclusión estable (5 puntos de contacto estables):
  1. Alineación dentaria.
  2. Alineación tridimensional (no interferencias).
  3. Presencia de tripoidismo (puntos de contacto A, B, C).
  4. Los contactos de A, B y C están en el área de infracontacto de las cúspides.
  5. Tripoidismo en cúspide estampadora.
  6. Mayor área de carga en cúspide estampadora (cúspide vestibular) que en la de corte (cúspide lingual).
  7. Solamente hay un punto de contacto en la cúspide de corte y dos en el reborde distal (tripoidismo).
  8. Las cargas se aplicaron verticalmente.
  
1. Que, al simular una deflexión o punto de interferencia, la oclusión debe ser inestable y la carga debe aplicarse en un punto:
  1. No existe tripoidismo, solamente contacta un punto.
  2. El contacto se ubica en el área de supracontacto de la cúspide estampadora.
  3. La carga es horizontal .

#### **4.6. Criterios de exclusión**

1. Premolar con deformaciones.
2. Premolar con lesiones cariosas o fracturas.
3. Raíz con ápice abierto.
4. Premolar con dos raíces.
5. Bifurcación de la pulpa.

#### **4.7. Materiales**

Para el diseño digital de los Modelos I, II, III y el análisis de elementos finitos se usó Software CAD SOLIDWORKS®.

#### **4.8. Metodología**

Para este estudio se consideró un segundo premolar mandibular por tener una forma de transición entre canino – molar. Al ser un diente posterior, se puede analizar su reacción ante el estrés y su capacidad de carga. Los materiales de cada estructura fueron asignados en el programa SOLIDWORKS® mediante la información de las propiedades mecánicas tomadas de la bibliografía; mientras más exactas son las propiedades, mayor es su aporte para que la simulación se comporte lo más cercano a lo real (Srivastava et al., 2018).

El método de Elementos Finitos se utilizó para analizar tres premolares: uno completo y sano, uno restaurado con resina compuesta y otro restaurado con resina Bulk. Los tres fueron sometidos a una fuerza axial de 200 N en el área funcional (masticación); una fuerza axial de 200 N en 5 puntos de contacto oclusal estable (deglución); una fuerza horizontal de 600 N en 1 punto de contacto oclusal inestable, siendo una interferencia (deflexión). Más adelante se detalla la ubicación exacta de estas fuerzas. Se comparó la distribución de esfuerzos de los dientes restaurados en base al comportamiento del diente sano.

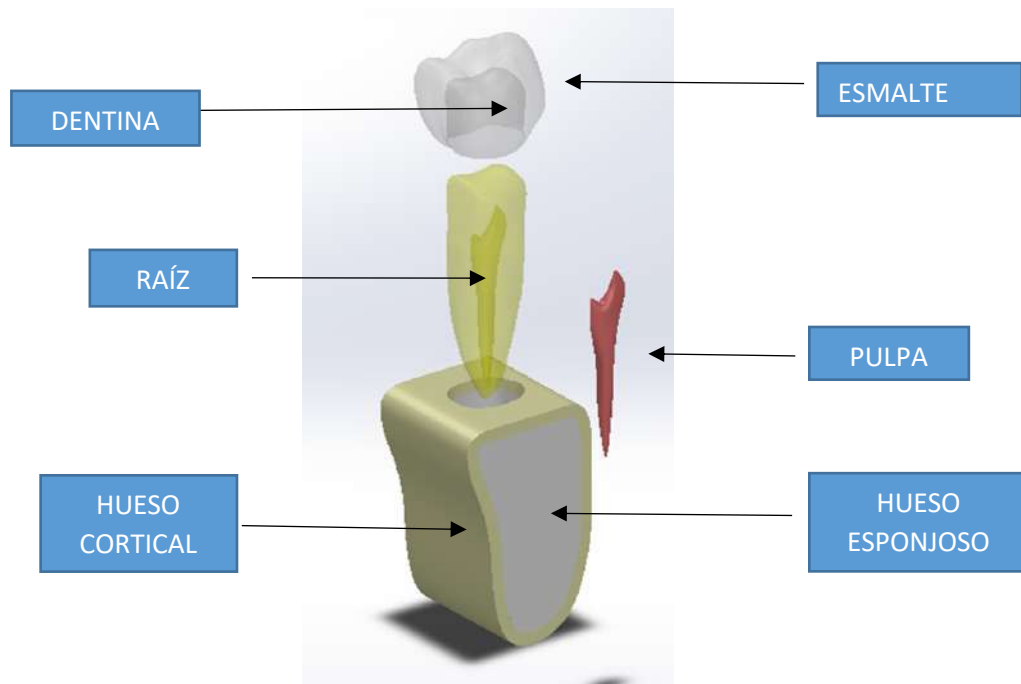
Los modelos tridimensionales fueron diseñados, por Ingeniero Mecánico Mauricio Germán Pérez Mejía, en un Software llamado CAD SOLIDWORKS®. Fueron dibujados con las medidas obtenidas de la literatura Ingle et al, (1996) que se describió en la parte de Criterios de Inclusión de esta investigación.

#### **4.8.1. Modelado**

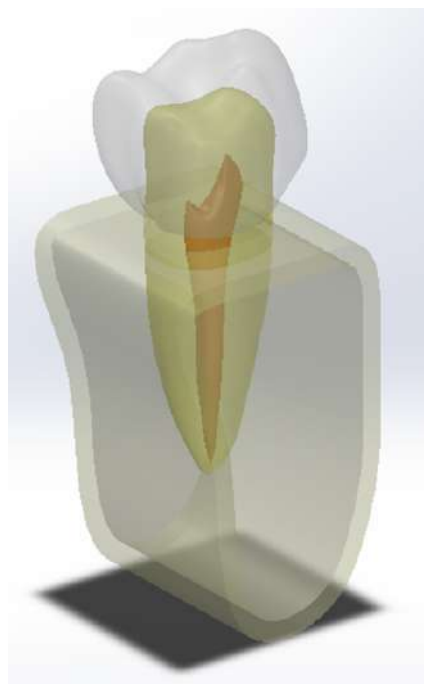
##### **4.8.1.1. Modelado de un diente premolar sano**

Los diseños de las estructuras se realizaron a partir de dimensiones geométricas similares a una pieza dental real. Mediante líneas, curvas, uniones, puntos dibujados en distintos planos, uniendo todo esto para darle la forma final con las medidas respectivas, se formaron distintas piezas que posteriormente fueron unidas para darle forma a la pieza dental deseada. Como resultado se obtuvo el modelo virtual en 3D de un segundo premolar mandibular sano, se lo llamó Modelo I (Fig.). Este diente fue imitado en su geometría natural (esmalte, dentina y tejido pulpar), incluso sus estructuras periodontales óseas fueron recreadas (hueso cortical y hueso esponjoso).

La encía y ligamento periodontal no fueron modelados debido a sus módulos elásticos muy bajos, no influirían en las distribuciones de estrés. (Rodríguez et al. 2020)



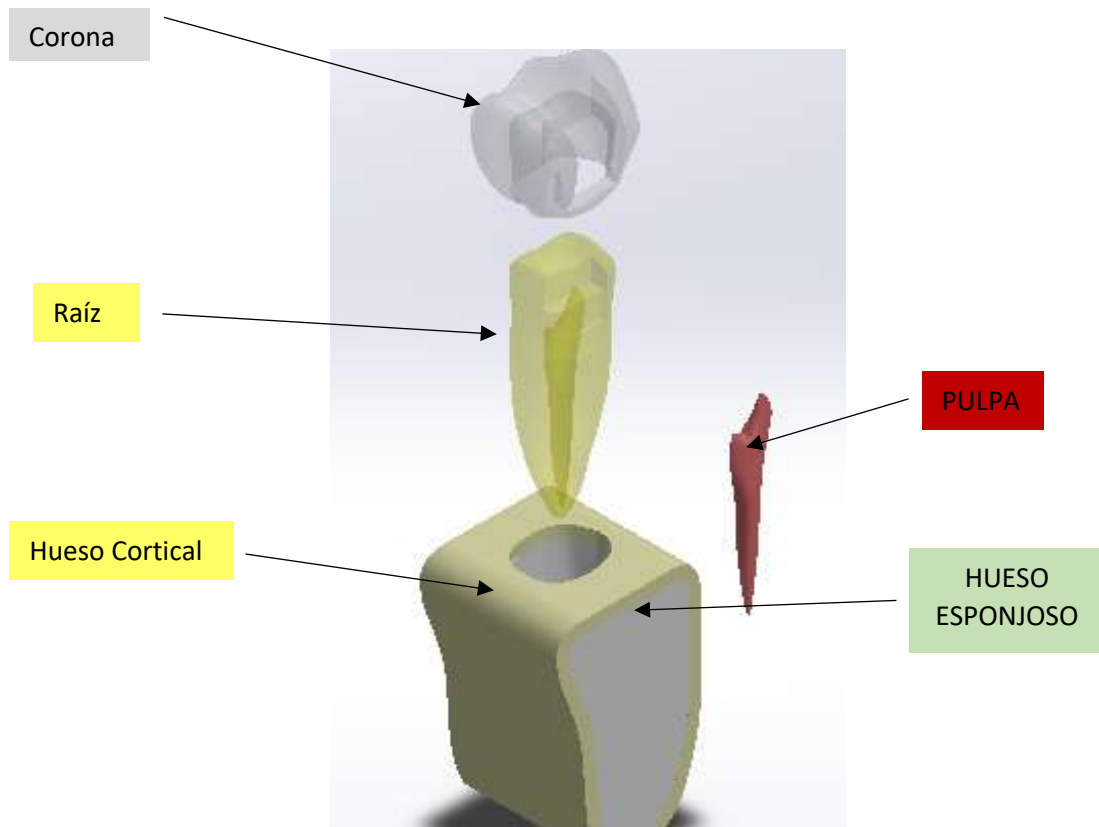
*Figura 1.* Partes que conforman el premolar restaurado con resina nanocompuesta, vista explotada.



*Figura 2.* Ensamble de todas las partes que conforman el premolar sano con transparencia.

#### 4.8.1.2. Modelado de la cavidad

Con el mismo programa CAD SOLIDWORKS®, se realizó dos copias del Modelo I, a las que se nombró Modelo II y Modelo III respectivamente. Se diseñó las cavidades OD clase II.

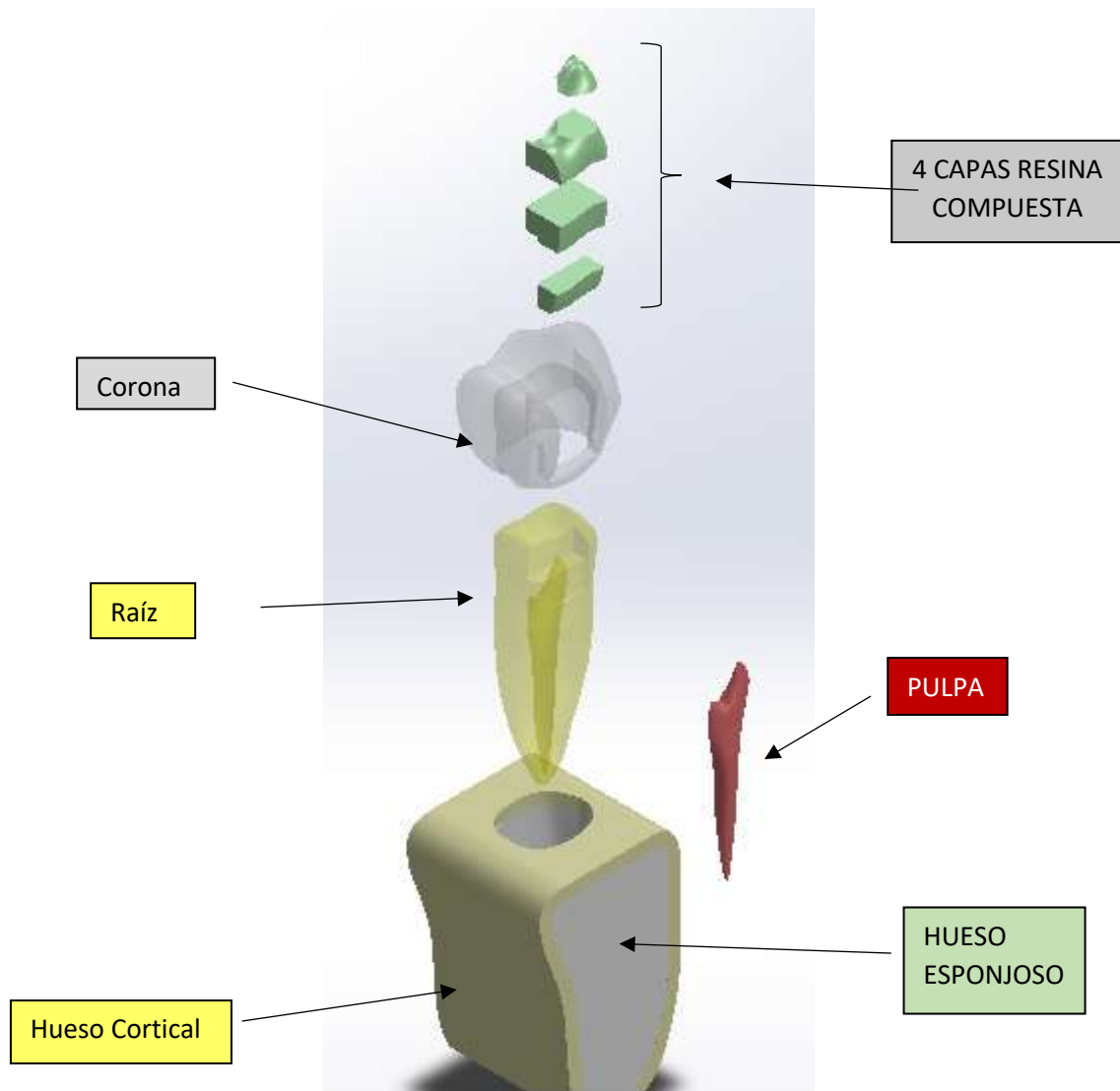


*Figura 3.* Partes que conforman premolar con cavidad clase II, vista explotada.

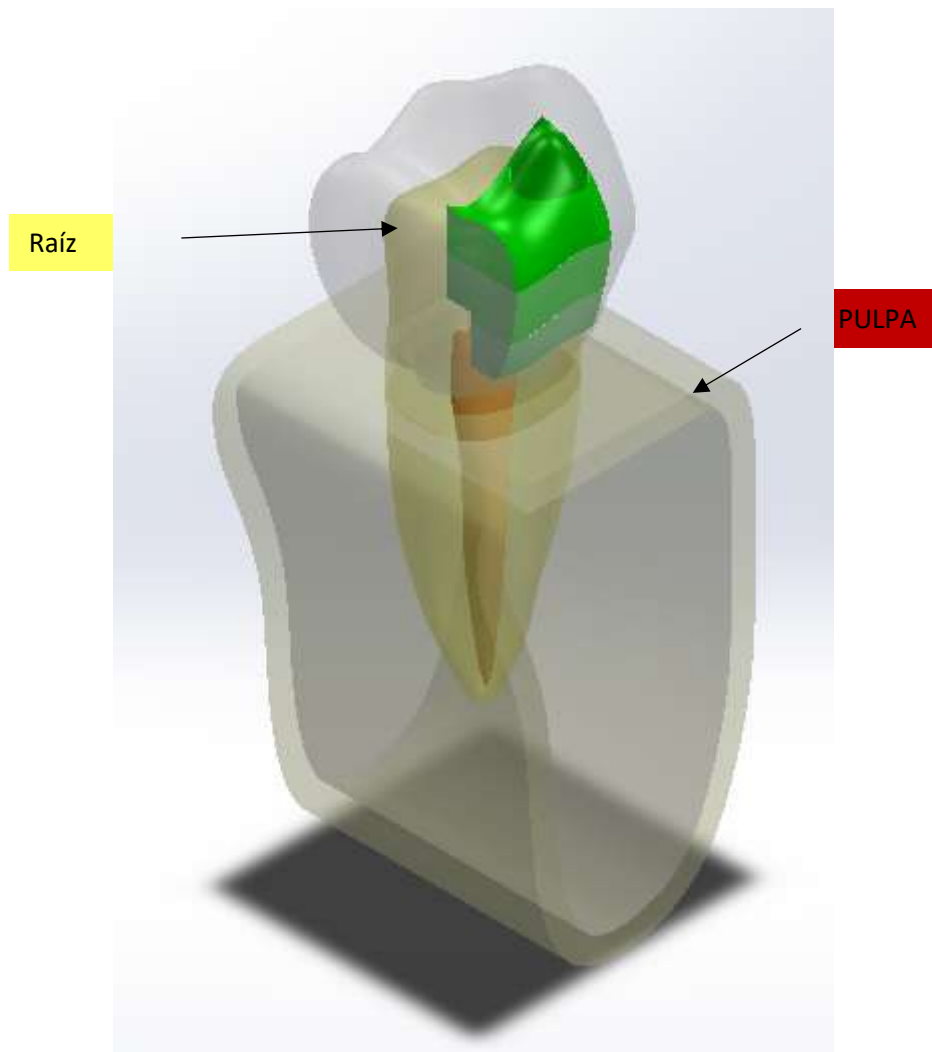
#### 4.8.1.3. Modelado de las Restauraciones con Resina Compuesta y Bulk

Se diseñaron las restauraciones ocluso-distales. Para el Modelo II se eligió resina compuesta Filtek Z250; 3M ESPE, MN, EUA, para el MODELO III se eligió resina Filtek Bulk Fill, 3M-ESPE, MN, EUA.





*Figura 4.* Partes que conforman premolar restaurado con resina compuesta, vista explotada.



*Figura 5.* Ensamble de partes que conforman al premolar con restauración nanocompuesta, con transparencia

Por motivos de entendimiento visual se le cambió los colores a esta imagen de cada parte de la restauración para que se pueda notar la diferencia de los 2mm en los que se le ha dividido a la restauración, representan las 4 capas de resina compuesta.

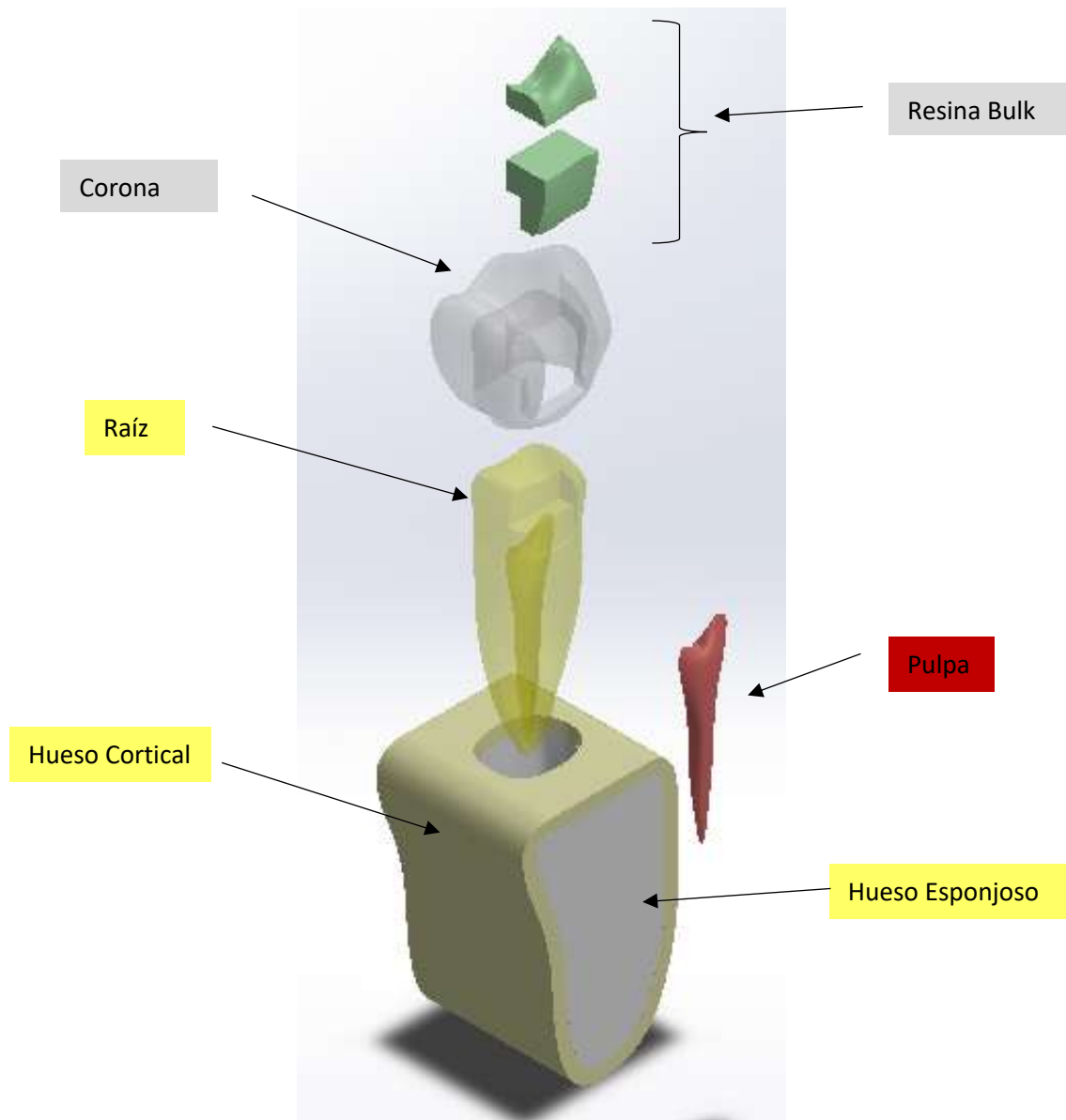
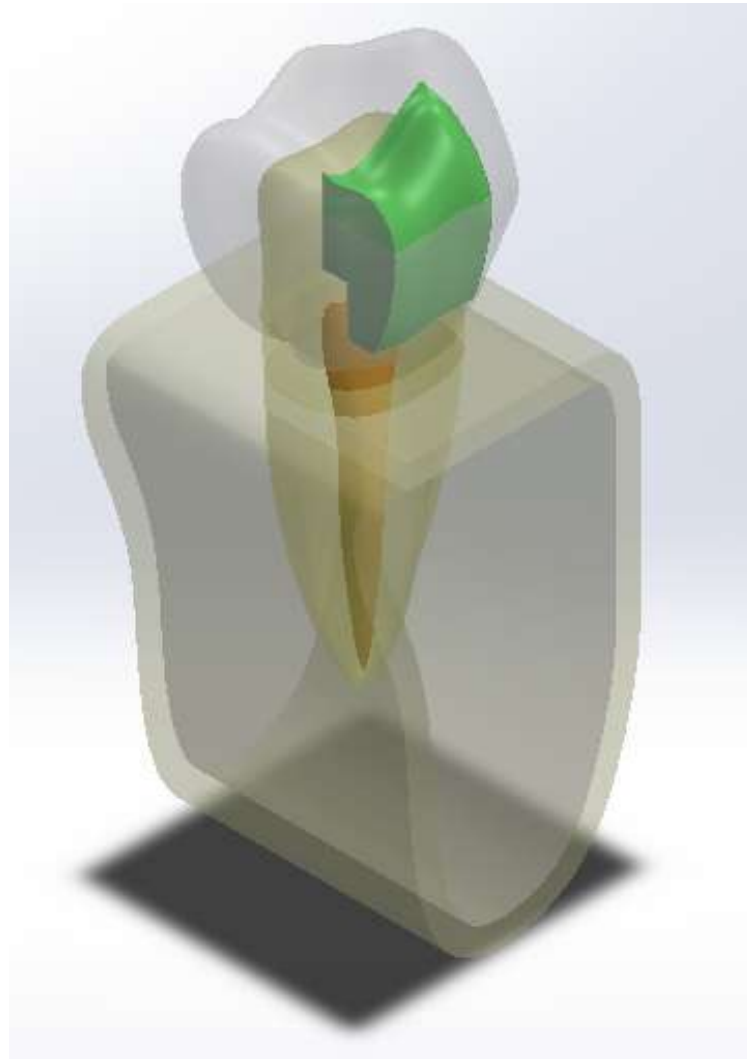


Figura 6. Partes que conforman premolar con restauración Bulk, vista explotada



*Figura 7.* Ensamble de las partes que conforman al premolar con restauración Bulk, con transparencia.

#### **4.8.2. Procedimiento de análisis de elementos finitos**

##### **4.8.2.1. Definición de las características del material de cada componente**

El programa SOLIDWORKS® incluye en su sistema propiedades de distintos materiales que son los más utilizados en Ingeniería (metales por lo general). Las propiedades de los materiales dentales y restaurativos no vienen de manera predeterminada en el programa, por esta razón se ingresó manualmente los valores correspondientes a la tabla a continuación:

Tabla 11  
Propiedades mecánicas de los materiales.

Material	Módulo Elástico (MPa)	Coefficiente De Poisson
Hueso trabecular	1370	0.3
Hueso esponjoso	3700	0.3
Esmalte	80000	0.3
Dentina	17600	0.25
PULPA	2	0.45
Resina Bulk Fill	8300	0.24
Resina Nanocompuesta Z250	45000	0.35

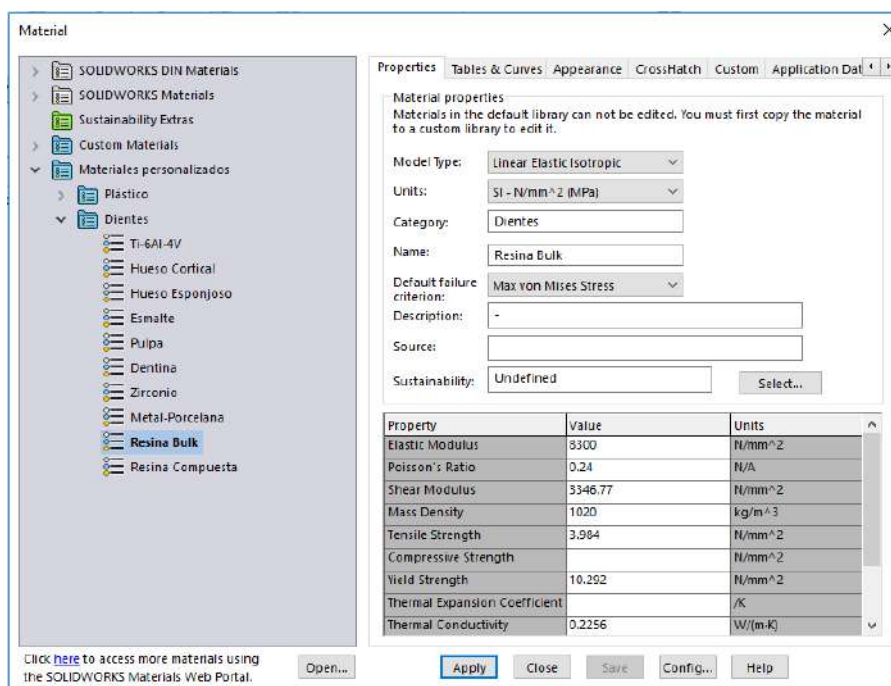


Figura 8. Asignación de propiedades mecánicas para cada elemento presente en los casos de estudio en el programa Solidworks.

#### 4.8.2.2. Construcción del modelo

Se asignaron restricciones y cargas, sirven para definir las partes que van fijas (restricciones) y las zonas donde se va a ubicar la fuerza con su magnitud y dirección.

Las unidades de fuerzas con sus direcciones son:

1. Masticación: 200 N, axial sobre el área funcional.
2. Deglución: 200 N, axial en 5 puntos estables y definidos de cúspide estampadora vestibular y reborde marginal distal.
3. Deflexión: 600 N, horizontal en 1 punto inestable de cúspide estampadora vestibular.

La asignación de fuerzas fue la misma para el premolar sano, premolar con resina compuesta, premolar con resina Bulk. Se comparó la diferencia que hubo entre los 3 casos de análisis bajo las mismas condiciones. Las imágenes mostradas son referencias que señalan al lector la ubicación de las fuerzas para cada uno de los casos

Las posiciones de las fuerzas se detallarán de manera gráfica en las siguientes Imágenes:

#### 4.8.2.2.1. Definición de fuerza axial de 200 n en area funcional de masticación

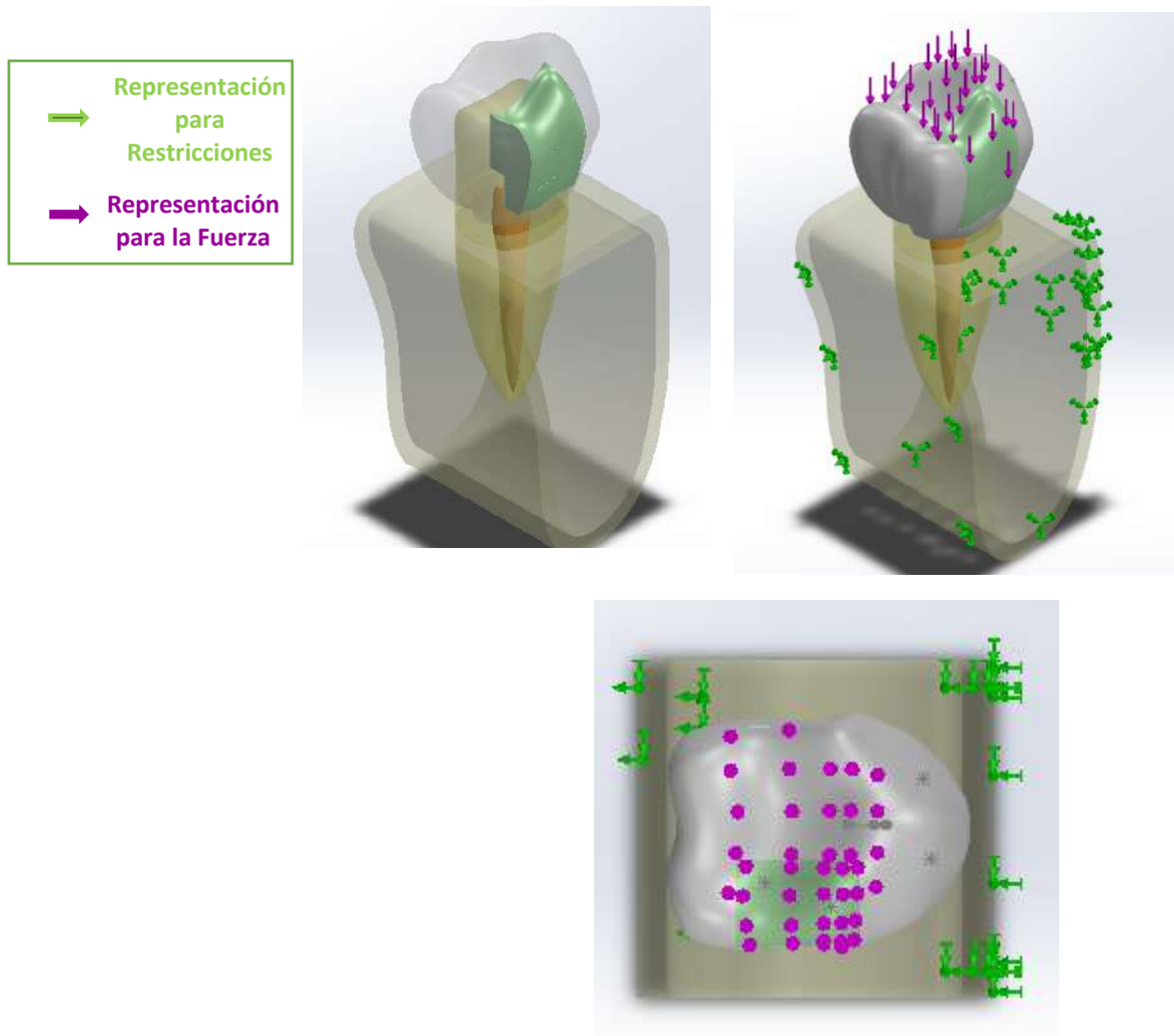


Figura 9. Definición de carga, posición y restricciones dentro del área funcional (masticación a 200 N), en modelos I, II, III.

#### 4.8.2.2.2. Definición de fuerza axial de 200n en 5 puntos estables en cara oclusal producidos en deglución

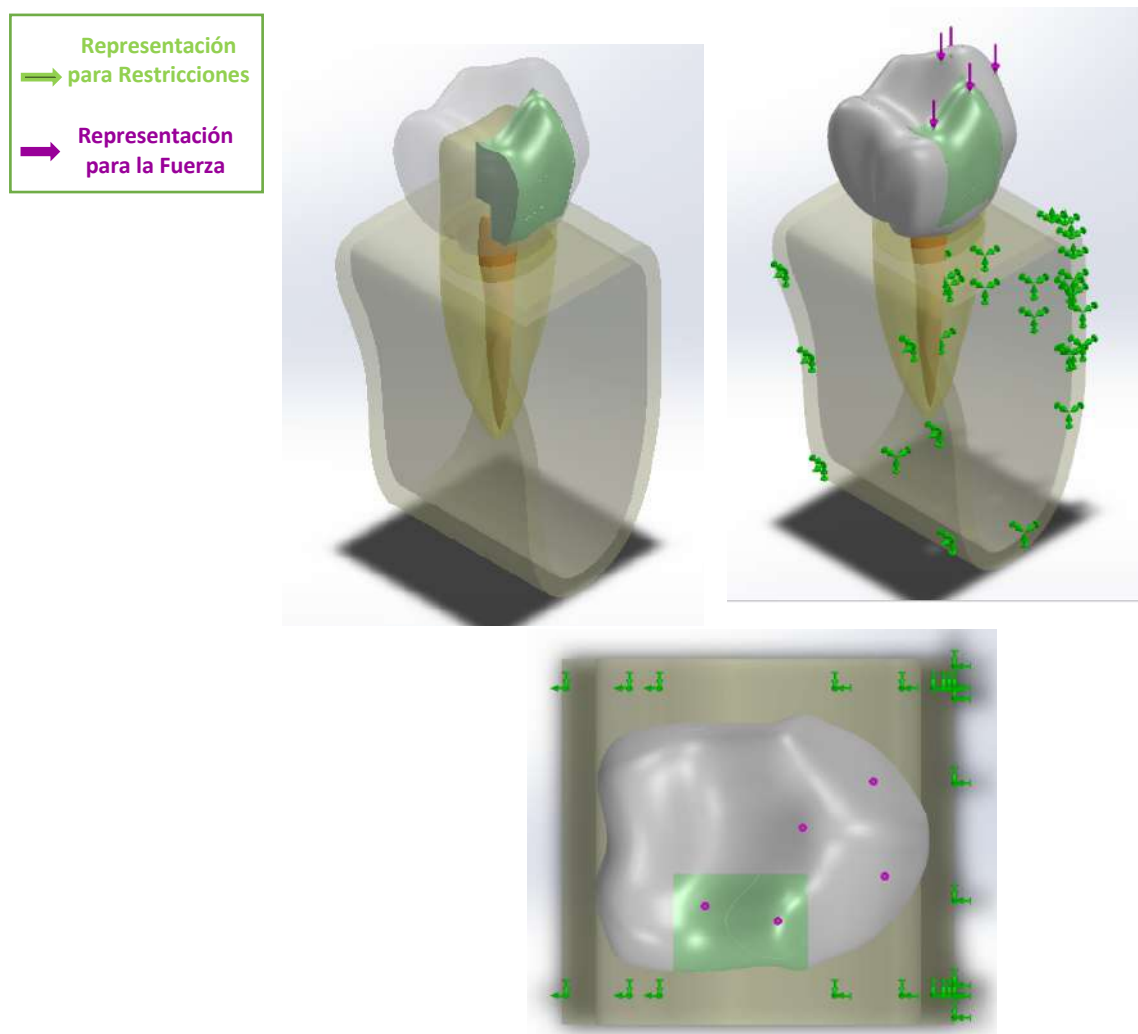


Figura 10. Definición de cargas, posición y restricciones en 5 puntos estables (deglución a 200 N), en modelos I, II, III.

#### 4.8.2.2.3. Definición de fuerza tangencial de 600n en punto de contacto defectivo (interferencia)

#### 4.8.3. Mallado

Se procedió a realizar el mallado de cada uno de los modelos previo a ejecutar los estudios de resultados. El proceso de mallado se realizó en pieza dental



natural, con resina compuesta y resina Bulk. Las imágenes a continuación evidencian el mallado, este proceso se efectuó en cada ensamblaje de estudio mencionadas anteriormente.

A todas las estructuras sólidas, se les dividió en varios elementos finitos. El elemento elegido para el estudio fue triangular, un elemento de 3 nodos; cada elemento se junta con otro para formar una estructura. (Rodrigues et al., 2020) (Figs.).

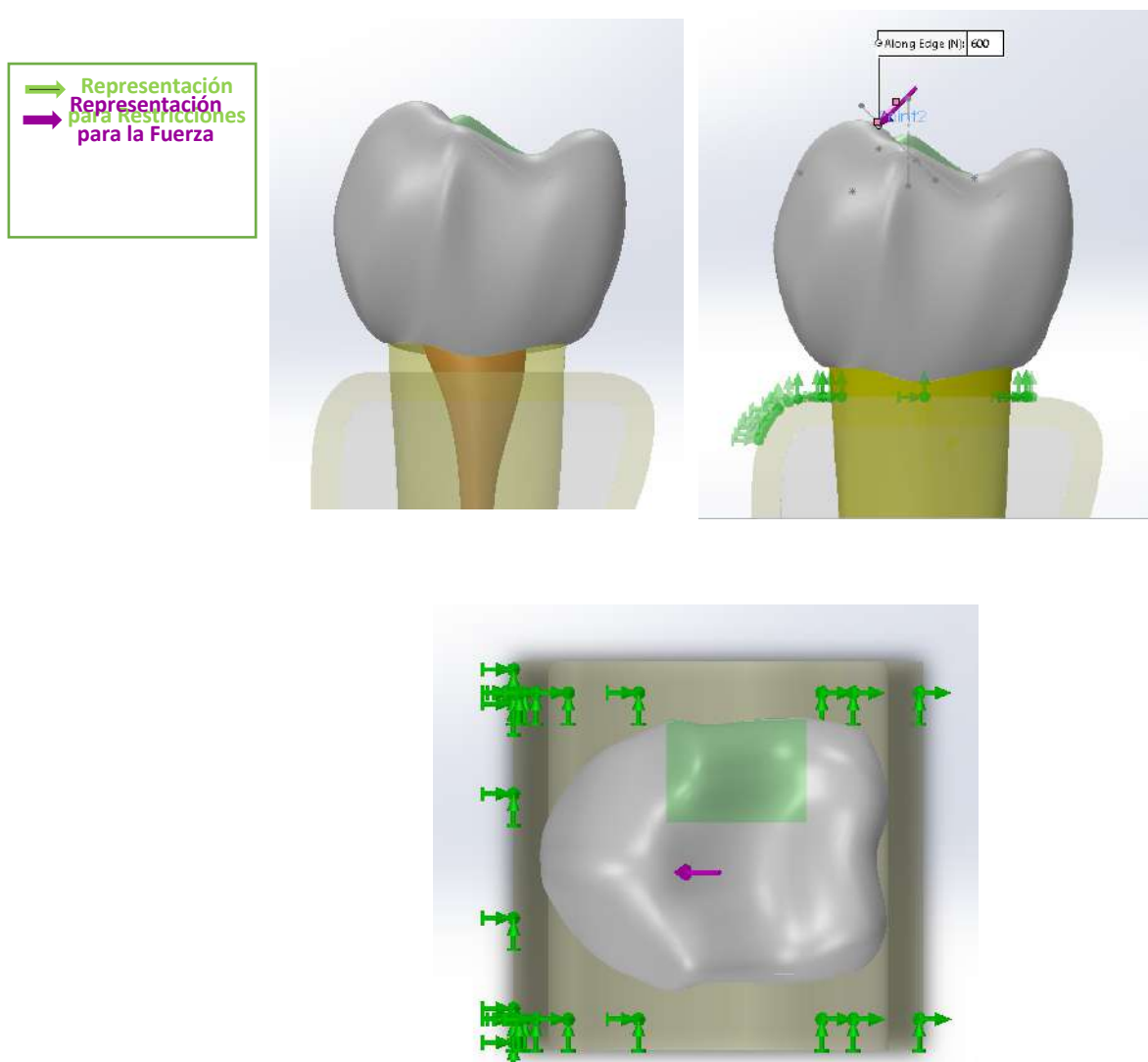


Figura 11. Definición de cargas, posición y restricciones en un punto inestable (deflexión a 600 N), en modelos I, II, III.

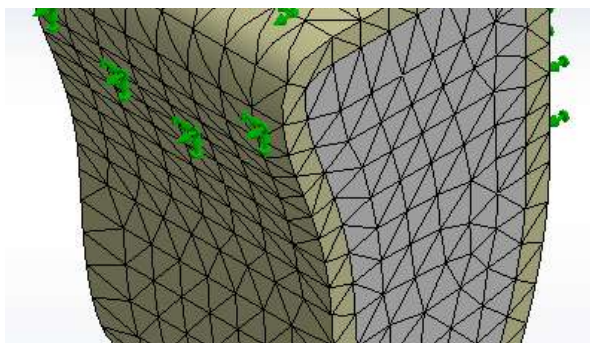


Figura 12. Elementos triangulares de 3 nodos unidos entre si forman una malla

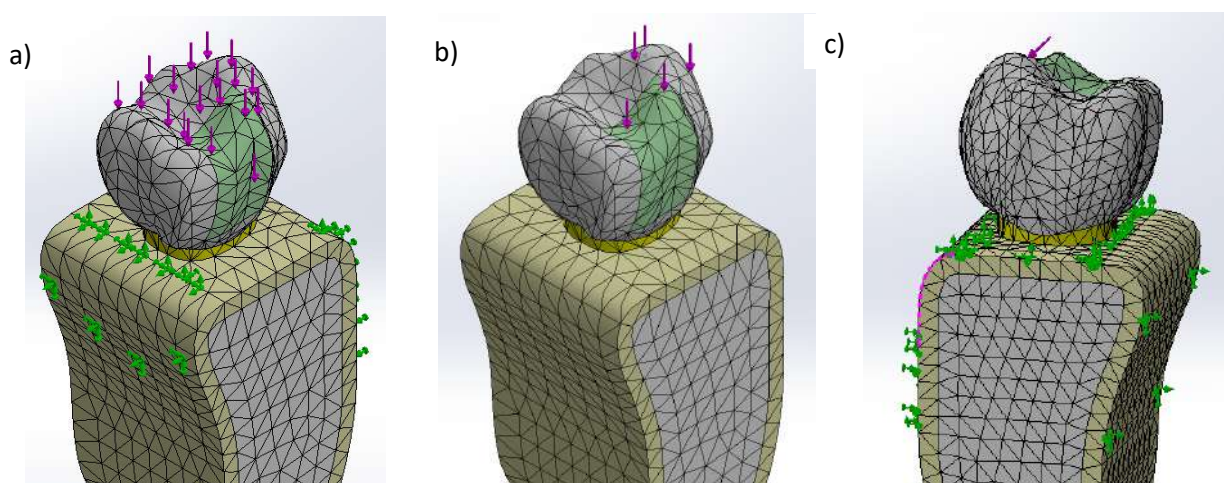


Figura 13. Mallado con sus parámetros correspondientes a) Fuerza axial en área funcional, masticación a 200 N, b) Fuerza axial en 5 puntos de contactos estables, deglución a 200 N c) Fuerza horizontal en punto de contacto inestable, deflexión a 600 N.

#### 4.8.4. Solución del modelo

Los materiales de los modelos se comportaron como materiales elásticos, en donde se vieron los cambios que hubo a lo largo de toda la deformación de los mismos. Se observó el comportamiento de las tensiones y deformación creadas sobre los dientes, huesos y sus respectivas restauraciones. Los resultados arrojados fueron evaluados en el programa CAD SOLIDWORKS®. Los resultados numéricos se compararon con el comportamiento del MODELO I (Diente Sano).

## 5. CAPÍTULO V. RESULTADOS

### 5.1. Análisis de resultados

Las imágenes a partir de las cuales se obtuvieron los resultados se encuentran en Anexos.

#### 5.1.1. INFORME TEORÍA DE FALLA VON MISES

Tabla 12

*Coloración del premolar según resultados de Von Mises (pico máximo de estrés).*

<b>Von Mises</b>	<b>Diente sano</b>	<b>Diente Bulk</b>	<b>Diente Nano</b>
<b>Masticación</b>	Tercio medio corona clínica (26.01)	Tercio cervical corona clínica (28.55)	Tercio cervical corona clínica (132.298)
<b>Deglución</b>	Tercio oclusal corona clínica (332.83)	Tercio cervical corona clínica (396.13)	Tercio medio corona clínica (343.51)
<b>Deflexión</b>	Tercio oclusal corona clínica (582.65)	Tercio oclusal corona clínica (593.65)	Tercio medio corona clínica (572.54)

El pico máximo de estrés en el diente sano ante la masticación fue de 26.01 MPa en el tercio medio de la corona clínica, ante la deglución 332.83MPa en el tercio oclusal de la corona clínica, en la deflexión 582.65 MPa en el tercio oclusal de la corona clínica. En el diente restaurado con Bulk, los valores de Von Mises en la masticación fueron de 90.75 MPa en el tercio oclusal de la corona clínica, en la deglución 396.13 MPa en el tercio cervical de la corona clínica y en la deflexión presentó 593.65 MPa en el tercio oclusal de la corona clínica. En el diente restaurado con resina nanocompuesta presentó el pico máximo de estrés de 132.272 Mpa en el tercio cervical de la corona clínica, en la deglución 343.51 MPa en el tercio medio de la corona clínica y en la deflexión se registró el pico más alto de estrés con 572.54 MPa en el tercio cervical de la corona clínica.

Tabla 13

*Lugares donde pintan rojo y naranja, alta carga de estrés.*

<b>Von Mises</b>	<b>Diente sano</b>	<b>Diente Bulk</b>	<b>Diente Nano</b>
<b>Masticación</b>	Tercio medio corona clínica  Tercio cervical corona clínica	Tercio cervical lingual corona clínica  Sellado marginal	Tercio cervical distal corona clínica.  Hueso cervical  Sellado marginal
<b>Deglución</b>	Cúspide vestibular y reborde marginal distal.	Cúspide vestibular y reborde lingual  Tercio cervical	Cúspide vestibular  Tercio medio mesial corona clínica
<b>Deflexión</b>	Tercio oclusal en cúspide vestibular  Tercio cervical vestibular	Tercio oclusal en cúspide vestibular  Tercio cervical	Tercio oclusal cúspide vestibular  Tercio medio corona clínica

Según los resultados de Von Mises, en el premolar sano, en la masticación se coloreó el tercio cervical y medio de la corona clínica, en la deglución se coloreó en la cúspide vestibular y reborde marginal distal y en la deflexión se coloreó la cúspide vestibular y tercio cervical. En el premolar restaurado con resina Bulk, en la masticación se coloreó el tercio cervical de la corona clínica, el sellado marginal del tercio oclusal y el tercio cervical de la raíz, en la deglución se coloreó la cúspide vestibular y reborde marginal distal, y en la deflexión la cúspide vestibular y tercio cervical. En el diente restaurado por la resina nanocompuesta se coloreó en la masticación, el área del tercio cervical de la corona clínica, el sellado marginal del tercio oclusal, en la deglución se coloreó la cúspide vestibular y reborde marginal distal, por último, en la deflexión se coloreó la cúspide vestibular y tercio cervical.

### 5.1.2. INFORME FACTOR DE SEGURIDAD

Tabla 14

*Sitios donde hay más probabilidad de falla (fractura).*

<b>Factor de seguridad (0-4)</b>	<b>Diente sano</b>	<b>Diente Bulk</b>	<b>Diente Nano</b>
<b>Masticación</b>	Hueso cervical (0.25)	Hueso cervical (0.12)	Hueso cervical (0.07)
<b>Deglución</b>	Tercio cervical corona clínica (0.03)	Tercio oclusal corona clínica (0.04)	Tercio medio corona clínica (0.05)
<b>Deflexión</b>	Tercio cervical corona clínica (0.02)	Tercio medio corona clínica (0.02)	Tercio medio corona clínica (0.01)

El número 0 representa la fragilidad y el 4 la ductilidad de los materiales. Desde el número 1 hacia el 0, hay probabilidad de falla. Desde el número 1 hacia el 4, es más que seguro que el material no va a fallar y desde el número 1 hacia el 0, hay probabilidad de falla y en el peor de los casos hasta se fracture. Los datos arrojados por el software de elementos finitos que se encuentran en la tabla son los sitios donde hay más probabilidad de falla en los dientes estudiados:

El diente sano presenta un factor de seguridad en la masticación de 0.25 en el hueso cervical, en la deglución 0.03 en el tercio cervical de la corona clínica y en la deflexión 0.02 en el tercio cervical de la corona clínica. El diente restaurado con resina Bulk presentó a la masticación, 0.12 en el hueso cervical, en la deglución en el tercio oclusal de la corona clínica 0.04 y en la deflexión 0.02 en el tercio medio de la corona clínica. En el diente restaurado con resina nanocompuesta, a la masticación 0.07 en el hueso cervical, en la deglución 0.05 en el tercio medio de la corona clínica y en la deflexión 0.01 en el tercio medio de la corona clínica.

Imagen. Resultados de distribución de estrés en el premolar. Zonas rojas son las que más estrés tienen, seguido por naranja y amarillo, verde y azul, en orden descendente.

Tabla 15

*Lugares donde pintan rojo y naranja, alta carga de estrés.*

<b>Factor de seguridad</b>	<b>Diente sano</b>	<b>Diente Bulk</b>	<b>Diente Nano</b>
<b>Masticación</b>	Hueso cervical	Resina del reborde marginal distal  Resina del tercio medio corona clínica  Tercio cervical corona clínica Tercio cervical y medio de raíz  Tercio cervical hueso  Sellado marginal	Tercio cervical corona clínica  Tercio cervical y medio de raíz  Tercio cervical y medio de hueso  Sellado marginal
<b>Deglución</b>	Cúspide vestibular y reborde marginal distal  Tercio cervical corona clínica  Tercio cervical y medio de raíz  Tercio cervical y medio de hueso	Cúspide vestibular  Resina del reborde marginal distal  Resina del tercio medio corona clínica  Tercio cervical corona clínica  Tercio cervical y medio de raíz  Tercio cervical y medio de hueso  Cajas proximal y oclusal  Sellado marginal	Cúspide vestibular  Resina de reborde distal  Tercio medio en mesial corona clínica  Tercio cervical corona clínica  Tercio cervical y medio de raíz  Tercio cervical y medio de hueso  Sellado marginal
<b>Deflexión</b>	Cúspide vestibular  Tercio cervical corona clínica  Tercio cervical y medio de raíz  Tercio cervical y medio de hueso	Cúspide vestibular  Resina de tercio medio  Tercio cervical de corona clínica  Tercio medio y cervical de raíz  Tercio medio y cervical de hueso  Cajas proximal y oclusal	Cúspide vestibular  Tercio medio y cervical de corona clínica  Tercio medio y cervical de raíz  Tercio medio y cervical de hueso  Pared caja proximal

El factor de seguridad en el diente sano ante la masticación se presentó en el tercio cervical raíz, tercio cervical y medio del hueso, ante la deglución en la cúspide vestibular y reborde marginal distal, tercio cervical corona clínica, tercio cervical y medio de la raíz, tercio cervical y medio del hueso. Frente a la deflexión, se encontró el factor de seguridad reflejado en la cúspide vestibular, tercio cervical de la corona clínica, tercio cervical y medio de la raíz y tercio cervical y medio del hueso. El diente Bulk presentó su factor de seguridad frente a la masticación en el sellado marginal del tercio oclusal, en el tercio oclusal, medio y cervical de la resina, tercio cervical de la corona clínica, tercio cervical de la raíz y tercio medio y cervical del hueso. En la deflexión se presentó el factor de seguridad en el sellado marginal del tercio oclusal y medio, tercio oclusal, medio y cervical de la resina Bulk, cúspide vestibular y reborde marginal distal, tercio cervical de la corona clínica, tercio cervical y medio de la raíz, tercio cervical y medio del hueso y caja proximal. En el diente restaurado con la resina nanocompuesta se presentó el factor de seguridad en la masticación en el sellado marginal del tercio oclusal, tercio cervical de la corona clínica, tercio cervical y medio de la raíz, tercio medio y cervical del hueso, caja proximal. En la deglución, esta zona se presentó en cúspide vestibular y reborde marginal distal, tercio cervical corona clínica, tercio cervical raíz, tercio cervical y medio del hueso, caja proximal. Por último, en la deglución se presentó la zona del factor de seguridad en sellado marginal del tercio cervical, cúspide vestibular, tercio cervical de la corona clínica, tercio cervical y medio de la raíz, tercio cervical y medio del hueso y en la caja proximal.

## 6. CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN

En los resultados de Von Mises cuando existen varias áreas rojas distribuidas por toda la estructura significa que, a pesar de ser altas, las cargas se están distribuyendo de manera uniforme. Por otro lado, si a lo largo del cuerpo solo se visualiza una sola zona de color rojo, significa que se están acumulando las cargas en aquel lugar y es propenso a fallas e incluso fracturas.

En general, los valores de Von Mises del diente sano son muy uniformes en masticación, deglución y deflexión. La distribución de esfuerzos se comporta equilibradamente, partiendo de la corona hacia la raíz, con valores de esfuerzos promedios, sin generar esfuerzos tan altos en el diente, tampoco en el hueso.

En masticación, el pico máximo de estrés del diente sano se ubica en el tercio medio de la corona clínica, siendo un lugar seguro porque en este nivel hay mayor espesor del esmalte y dentina en comparación con el tercio oclusal y cervical de la corona clínica. El diente Bulk tiene su pico de estrés en el tercio oclusal, donde el esmalte es más fuerte y apto para recibir cargas masticatorias que el tercio. Un dato que llama la atención es la gran diferencia que hay entre el valor del diente sano (26.01 MPa) y el valor del diente Nanocompuesto (132.272 MPa), información que da a pensar que el diente Nanocompuesto acumula grandes esfuerzos a nivel del cuello, situación que cervical como es el caso del diente Nanocompuesto que tiene su pico máximo de estrés en el cuello es muy propenso al fallo. En el diente Bulk existe una zona roja a nivel del sellado marginal, lo cual evidencia riesgo en este lugar. Los valores máximos de Von Mises no se centran en la corona, pero sí en la raíz.

En deglución el diente sano tiene su pico máximo de estrés en el tercio oclusal (332.83 MPa), el diente Bulk tiene su pico (396.13 MPa) en tercio cervical de la corona clínica, el diente Nanocompuesto tiene su pico (343.51 MPa) en tercio medio de corona clínica. A pesar de que las ubicaciones de los picos de estrés



son distintas, siendo el diente Bulk el que tiene mayor riesgo por tenerlo en el cuello, los valores son muy parecidos entre los tres dientes.

En deflexión ocurre algo parecido a lo antes dicho, el diente sano (582.65 MPa) tiene su pico en tercio oclusal, el diente Bulk (593.65 MPa) con su pico en tercio oclusal, diente Nanocompuesto (572.54 MPa) con su pico en tercio cervical, lo hace más propenso a que se produzcan daños a nivel de su cuello. Los tres dientes cuentan con valores muy parecidos.

Según Gévez et al. (2016) en los ciclos masticatorios normales, las fuerzas oclusales se generan bilateralmente e incluso al cierre cíclico de la mandíbula, la fuerza es mayor en el lado de trabajo, se agrega también que el movimiento realizado por los dientes mandibulares sobre los dientes maxilares afecta en la distribución de estrés. En esta investigación se tomó en cuenta únicamente el premolar inferior de manera apartada de los demás dientes que resisten la oclusión y se programó el modelo con las características del hueso mandibular trabecular y esponjoso.

En cuanto al factor de seguridad del diente sano establece que el hueso es el elemento principal para la distribución de esfuerzos. En masticación, deglución y deflexión, el hueso se encarga de absorber el esfuerzo más alto, permitiendo que el diente no se sobrecargue de estrés. En base a este suceso se puede determinar que:

En masticación el diente Bulk, a pesar de que su mayor nivel de estrés se encuentre en el área del hueso, se aleja de los parámetros del diente sano al presentar mayor área de estrés en de la corona clínica en comparación al hueso. El diente Nanocompuesto tiene mayor estrés en el hueso que en corona clínica, sin embargo, en su cuello hay un tono más rojizo en comparación con el cuello del diente Bulk, lo que quiere decir que esta zona del cuello del diente Nanocompuesto está más propensa a fracturas que el cuello del diente Bulk. El sellado marginal en diente Nanocompuesto tiene un pequeño peligro a nivel del

tercio oclusal de la corona clínica, en diente Bulk el peligro se ubica en casi todo el sellado marginal.

En deglución, el diente sano y diente Nanocompuesto tienen su mayor punto de estrés en el hueso, mientras que el diente Bulk lo tiene en el tercio oclusal de la corona clínica. El diente Bulk carga con mayor estrés tanto en corona, como en cuello y hueso en relación al diente Nanocompuesto. El sellado marginal en diente Nanocompuesto tiene un pequeño peligro a nivel del tercio oclusal de la corona clínica, en diente Bulk el peligro se ubica en casi todo el sellado marginal.

En deflexión el mayor estrés se ubica en el hueso de los tres dientes, sano, Bulk, Nanocompuesto. En los cuellos de los tres dientes hay mucho estrés, podría ser esta la razón por la que los dientes posteriores tienen desgaste de cuellos cuando son sometidos a cargas axiales en presencia de interferencias. El sellado marginal del piso de la cavidad del diente Nanocompuesto tiene menor estrés que el del diente Bulk. El hueso del diente Bulk tiene menor estrés que el hueso del diente Nanocompuesto, pero la corona del diente Bulk lleva mayor estrés en comparación con el diente Nanocompuesto.

En el presente estudio se puede ver que en el caso de los premolares Cabe recalcar que según Serrano et al. (2009), en su estudio sobre el comportamiento mecánico en restauraciones con amalgamas y resina, donde aplicó una fuerza de 291,36 newtons en cinco puntos de contacto de modelos 3D de la corona de un premolar superior con cavidades clase I o II, restauradas con amalgama o resina con variación en la dirección de las paredes cavitarias, obtuvo mejor distribución de esfuerzos en los premolares con cavidades clase I que tenían una preparación divergente para amalgama y convergente para resina; en los premolares con cavidades clase II, la concentración de esfuerzos fue mayor con resina que con amalgama y coincide con los puntos de contacto, de igual forma tanto como en la amalgama y la resina, se encontró esfuerzos mayores en la restauración misma que en el tejido dentario.

Por lo que se puede afirmar que el éxito o fracaso de una restauración no sólo depende de la conformación de las paredes cavitarias y de la distribución de los esfuerzos sobre el diente, sino también de otros factores como el tipo de lámpara de fotocurado que se utilice o del módulo de elasticidad de cada material.

El presente estudio indica que el premolar restaurado con resina Bulk presenta menor fatiga a lo largo del diente y hueso en relación con el diente restaurado con resina nanocompuesta y mayor fatiga comparado con el premolar sano. Sin embargo, autores como Balkaya et al. (2018) realizaron un estudio donde analizaron el rendimiento clínico durante 1 año de 109 restauraciones de Clase II en 54 pacientes realizadas con ionómero de vidrio de alta viscosidad (Equia Forte Fil), resina compuesta Bulk (Filtek Bulk Restaurador Posterior) y con una resina compuesta microhíbrida colocada con técnica incremental (Charisma Smart Composite), los datos a diferencia del presente estudio fueron analizados por el test chi-cuadrado, Fischer's y McNemar's, en el cual se evidenció que no hubo cambios en las restauraciones en términos de retención, color, anatomía, descoloración marginal, punto de contacto, adaptación marginal, caries secundarias, sensibilidad postoperatoria y textura superficial; al final del año se encontró pequeños cambios en las restauraciones de resina pero no fueron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, se encontró diferencia estadísticamente significativa cuando se comparó los tres grupos en todos los parámetros excepto en la decoloración marginal, caries secundaria y sensibilidad postoperatoria por lo cual se concluye que las resinas presentaron mejor comportamiento en cavidades clase II comparado con el ionómero de vidrio. Estos hallazgos coinciden también con el estudio de Colak et al. 2017, que analizaron 74 restauraciones en cavidades clase II por 1 año, el primer grupo restaurado con una resina Bulk (Tetric EvoCeram bulk-fill) y el segundo grupo con resina compuesta nanohíbrida universal (Tetric EvoCeram) con técnica incremental d 2mm donde no se encontró ningún cambio ni a los 6 ni 12 meses en términos de sensibilidad postoperatoria, anatomía, retención y caries secundarias, existieron cambios en términos de color, descoloración

marginal y adaptación marginal, los mismos que no representaron diferencias significativas entre los dos materiales. Por otro lado, el estudio realizado por Sousa et al. (2017) menciona que las propiedades físicas y mecánicas de la resina Bulk son similares o superiores a las de una resina convencional. Benalcazar et al. (2019) en un estudio en donde después de someter a las resinas Bulk y convencional a un tratamiento de termociclado por 24 horas a 55 ° C, corrobora que la resina Bulk resultó con menor grado de estrés en comparación con la resina convencional.

La resina Bulk es un material muy popular en la operatoria dental porque su aplicación es fácil y ahorra tiempo. Con esta resina se han superado algunos desafíos, como la formación burbujas y riesgo de contaminación entre las capas (Balkaya et al., 2018). El principio de este estudio se basó en corroborar estudios como el de Costa et al., 2019, donde aluden que la resina Bulk fue creada para minimizar los problemas que la resina convencional posee, con propiedades mecánicas diseñadas para disipar mejor la tensión como la incorporación de fotoiniciadores más reactivos, partículas de polímero y partículas de fibra de vidrio. Además, los monómeros modulan la reacción de polimerización, aliviando el estrés. La colocación en forma de relleno evita la incorporación de huecos y la contaminación entre capas. Sin embargo, autores como García et al. en el 2019, en su evaluación encontraron que la penetración del tinte en el piso gingival, área crítica de las restauraciones clase II, puede deberse a una mayor contracción de la resina Bulk, donde los desprendimientos y las microfiltraciones son más frecuentes, especialmente cuando los márgenes no están en el esmalte, lo cual concuerda con el presente estudio donde se encontró más zonas del factor de seguridad del diente restaurado con resina Bulk comparado con el diente sano y el diente restaurado con resina nanocompuesta, es decir más áreas propensas a la fractura a lo largo del diente y hueso, incluso en la zona misma de la restauración Bulk y su caja proximal y caja oclusal, esto puede ser explicado debido a que según Ortiz y Masafierro en el 2014, el estrés y contracción de la

restauración dependerá del número de paredes al que esta esté adherida, mientras menos superficies, menor estrés tendrá.

Hay estudios que evalúan resinas Bulk fluidas vs Bulk regulares. Orłowski et al. en el 2010, evaluaron el sellado marginal de cuatro compuestos de relleno: SDR, SonicFill, TetricEvoceram BF, Filtek BF, demostrando que las resinas Bulk fluidas tenían una mejor adaptación marginal que las regulares. En el presente solamente se probó la resina Bulk regular, como el autor Miletic et al. 2019 menciona en su estudio, la mayoría de los autores no encuentran diferencias significativas entre una y otra.

Este estudio, basándose en el artículo de García et al., 2019, se realizó cavidades no mayores a 2 mm de ancho mesio-distal × 4 mm de ancho buco-lingual y 5 mm de profundidad ocluso-cervical, cuidando los límites de desgaste que se requiere para realizar una restauración directa clase II. García, recomienda un bisel en las terminaciones de las preparaciones para mejorar la calidad marginal de una restauración compuesta, sin embargo, al momento de dibujar en el software de elementos finitos, es complejo realizar detalles tan pequeños tales como el bisel, en este estudio se redondeó los ángulos, de esta forma asemejar a las terminaciones biseladas. Menezes et al. 2016, demostraron en su estudio que preparaciones con caja proximales tienen excelentes tasas de éxito

Si bien todas las resinas son materiales algo dúctiles y algo frágiles, estos dos tipos de resina, Bulk y Nanocompuesta, tienen una resistencia a los esfuerzos aceptable. Keulemans et al., 2015, menciona que a medida que la resina tiene más elasticidad, cuenta con mayor resistencia a la fractura. En el presente estudio a pesar de que las resinas Bulk y Nanocompuesta tienen distinto módulo de elasticidad, se encontró similitudes en los valores de fatiga de máximo entre las dos resinas. Se visualizó puntos de estrés en zonas críticas como el sellado marginal y la interfaz entre resina y paredes del diente, que podrían resultar en una falla adhesiva o el comienzo de microrupturas.

A pesar de no incluirse en la zona restaurativa, el tercio cervical o llamado cuello del diente es también una zona crítica, las fuerzas masticatorias se concentran en este lugar, produciendo ruptura del esmalte y hasta dentina. Los resultados de Falla de Von Mises indican que en masticación del diente Bulk con 28.55 MPa, Nanocompuesto con 132.298 MPa, el pico de estrés de los dos casos se ubica en el cuello. A pesar de tener una gran diferencia numérica entre los dos antes mencionados, el Factor de Seguridad menciona que tanto el diente Bulk (0.12), como el diente Nanocompuesta (0.07) están por encima del 0 y por debajo del 4 que son los rangos de seguridad aprobados para que no se fracture, ni se deforme cualquier estructura, en este caso, el esmalte del cuello dental.

Para una restauración compuesta exitosa, es esencial una correcta distribución de esfuerzos a lo largo del diente y hueso. La microfiltración, como consecuencia de quebraduras o desprendimientos de las resinas, es una deficiencia inherente de las restauraciones. Si las fuerzas masticatorias no se distribuyen correctamente a lo largo del diente y hueso, puede que las restauraciones absorban la mayoría del impacto. Una restauración con gran carga corre el riesgo de generar fallas en el sellado marginal, una quebradura en esta zona de interfaz entre diente y restauración, puede ocasionar la entrada de líquidos, bacterias y desechos de comida en la preparación de la cavidad. Los márgenes con fugas provocan caries, irritación pulpar con sensibilidad y manchas en los márgenes. Por lo tanto, las propiedades mecánicas de las resinas son factores importantes para evaluar el éxito del material restaurador. La distribución de esfuerzos se refiere a la ubicación de la intensidad de la fuerza sobre un área o punto, por lo que se sabe que el análisis de elementos finitos es una herramienta válida para la determinación de sobrecargas en las resinas y estructuras del diente. En la práctica, suele ser complejo y hasta a veces imposible idear experimentos que puedan cubrir cada detalle al momento de estudiar esfuerzos, el costo de EF es relativamente bajo, al ser un sistema matemático controlado es esencial para evaluar la distribución de esfuerzos de los dientes restaurados con materiales resinosos (García et al., 2019).

Muchos autores realizan estudios in vitro porque contribuyen al desarrollo y evaluación de materiales restauradores. Aunque se intenta imitar las condiciones clínicas reales, estos estudios no reflejan con precisión el rendimiento clínico de los materiales debido a los parámetros variables que tiene la boca. Las condiciones de almacenamiento afectan la estructura dental para estudios in vitro (Balkaya et al., 2018).

A pesar de que EF se considera como una forma relativamente fácil y económica de evaluar el comportamiento mecánico de estructuras complejas, se deben reconocer algunas limitaciones como la supresión de alguna estructura de los modelos de elementos finitos, por ejemplo, en el presente estudio se realizaron los modelos de dientes sin ligamento periodontal. Se debe concientizar que los valores aplicados no pueden considerarse como valores absolutos. La raíz, el ligamento periodontal y hueso, son los responsables de la movilidad fisiológica de los dientes. Clínicamente, las cargas masticatorias se transmiten desde la corona, pasan por la raíz y se transfieren al ligamento periodontal, finalmente llegan al hueso. La falta de movilidad fisiológica de los dientes en el presente estudio, influye negativamente en el resultado de la AEF (Keulemans et al., 2014).

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

La hipótesis fue comprobada el diente premolar con cavidad clase II obturado con resina Bulk mostró resultados menores de fatiga en comparación del diente premolar con cavidad clase II obturado con resina Nanocompuesta.

1. En las imágenes obtenidas del software de elementos finitos, se encontró que el premolar con cavidad clase II obturado con resina Bulk tuvo menos zonas de fatiga en comparación con el premolar obturado con cavidad clase II con resina nanocompuesta y en mayor en comparación al diente sano.
2. Frente a la masticación y deflexión, el diente restaurado con resina nanocompuesta, presenta mayor propensión a la fractura en el hueso (factor de seguridad: 0.07) y tercio medio de la corona clínica (factor de seguridad: 0.01) comparado con los otros dos. Frente a la deglución el diente sano muestra mayor propensión a la fractura (factor de seguridad: 0.03) en el tercio cervical de la corona clínica, seguido por el diente restaurado con Bulk seguido por el diente restaurado con resina nanocompuesta.
3. Según los resultados del factor de seguridad, se tiene mayor propensión a la falla o fractura en el premolar restaurado con resina Bulk en el sellado marginal (tercio medio, oclusal y cervical) y en tercio cervical del diente.
4. En la masticación, deglución y deflexión, el premolar obturado resina nanocompuesta permite la distribución de esfuerzos equitativamente en el hueso, protegiendo la corona clínica, al igual que el diente obturado con resina Bulk.
5. Se puede concluir que las condiciones biomecánicas del hueso del premolar obturado con resina nanocompuesta y del premolar obturado con Bulk se acercan a un diente sano.



## 7.2. Recomendaciones

Desde el punto de vista metodológico el presente estudio tuvo la limitación de simular el medio real del diente mediante elementos finitos se recomienda complementar este tema con un estudio in vitro con premolares reales sometidos a las mismas fuerzas y coincidiendo en las mismas zonas que planteó el estudio, investigación estadística que permitiría comprobar con más profundidad los resultados.

Se invita a los colegas de la facultad de odontología de la Universidad de las Américas, seguir investigando sobre el tema trabajado en esta tesis, pues el conocimiento de los materiales resinosos que usamos diariamente aseguran el éxito de los tratamientos que los involucran. Los avances tecnológicos aportan cada vez más en la mejoría de los materiales restauradores, como clínicos tenemos la obligación de investigar qué tipo de material es el que se ajusta a nuestros tratamientos, con esto aumentar el éxito.

## REFERENCIAS

- Akman, H., Tosun, G (2020) Clinical evaluation of bulk-fill resins and glass ionomer restorative materials: A 1-year follow-up randomized clinical trial in children. *Rev. Nigerian Journal of Clinical Practice*. Vol 23. Page : 489-497
- Alqudaihi FS, Cook NB, Diefenderfer KE, Bottino MC, Platt JA (2018). Comparison of Internal Adaptation of Bulk-fill and Increment-fill Resin Composite Materials. *Operative Dentistry*.
- Ali, A., Rawaiz, K., Khalid., Ai., Ziad, A., Fouad, F., Elsharawy, M and Nikolaos, S (2018). Simultaneous Evaluation of Creep Deformation and Recovery of Bulk-Fill Dental Composites Immersed in Food-Simulating Liquids. *Materials*; 11, 1180.
- Asmussen E1, Peutzfeldt A. (2008). Class I and Class II restorations of resin composite: an FE analysis of the influence of modulus of elasticity on stresses generated by occlusal loading. *Dent Material*;24(5):600-5.
- Ausiello, Ciaramella, Fabianelli, Gloria, Martorelli, Lanzotti, Watts. (2017) Mechanical behavior of bulk direct composite versus block composite and lithium disilicate indirect Class II restorations by CAD-FEM modeling. *Jun*;33(6):690-701.
- Ausiello P, Rengo S, Davidson CL, Watts DC. *Dent Mater* (2004). Stress distributions in adhesively cemented ceramic and resin-composite Class II inlay restorations: a 3D-FEA study. *Elsevier*; 20(9):862-72.
- Bayraktar Y, Ercan E, Hamidi MM, Çolak H. One-year clinical evaluation of different types of bulk-fill composites. *J Investig Clin Dent*. 2017;8(2):e12210.
- Borgia, E., Baron, R. (2019) Quality and Survival of Direct Light-Activated Composite Resin Restorations in Posterior Teeth: A 5- to 20-Year Retrospective Longitudinal Study. *Rev. J Prosthodontics*. 28(1): e195-e203
- Brunet Echavarría J, Bofill Fontboté S, Valenzuela Aránguiz V, Hann Viñuela N, Muñoz Reyes V (2016) Correlación entre las guías de desoclusión y la

- presencia de abfracciones. Rev. AVANCES EN ODONTOESTOMATOLOGÍA. Vol. 32 - Núm. 3.
- Budyas, R., Nisbett, J (2006) Sigley's Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill. 8va edición. Estados Unidos. Pag 17-18 Factor de seguridad, Pág. 28-32 Material Dúctil y Frágil, Pág. 211-225 Teoría de Fallas, Pág. 258-339 Falla por Fatiga.
- Cabrera, F. Acurio, B. (2017). Comparación de la resistencia compresiva de resinas convencionales vs resinas tipo bulk fill. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) Volumen 2, No. 2
- Cardona, J., Fernandez, R (2015). Anatomía radicular, una mirada desde la micro-cirugía endodóntica: Revisión. Rev. CES Odontología. Vol. 28 No. 2
- Colak H, Tokay U, Uzgur R, Hamidi MM, Ercan E. A prospective, randomized, double-blind clinical trial of one nano-hybrid and one highviscosity bulk-fill composite restorative systems in class II cavities: 12 months results. Niger J Clin Pract. 2017;20(7):822-31.
- Corral. C, Vildósola P, Bersezio C, Alves Dos Campos E, Fernández E., (2015). Revisión del estado actual de resinas compuestas Bulk-Fill. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2015; 27(1): 177-196
- Costa, L., Angelini, R., Garcia, E., Aparecida, F., Brugnera, Z., Teixeira, D., Ratto, A., Fernandes, K., Mesquita, R, Bussadori. S. (2019) Microleakage of "Bulk-Fill" Composite Resin for Class II Restorations Pretreated With CO2 Laser in Deciduous Molars: An In Vitro Study. Rev. J Lasers Med Sci 2019 Autumn;10(4):304-309
- Dejak B, Młotkowski, A (2015). A comparison of stresses in molar teeth restored with inlays and direct restorations, including polymerization shrinkage of composite resin and tooth loading during mastication. Dent Mater; 31(3):e77-87
- DERCHI, G., VANO, M., CESERACCIU, L., DIASPRO, L (2018). Stiffness effect of using polywave or monowave LED units for photo-curing different bulk fill composites. Dental Materials Journal.

- Dong A, Zhao Y, Zhao X, Yu Q (2018). Cure Cycle Optimization of Rapidly Cured Out-Of-Autoclave Composites. *Materials*; 13;11(3).
- García, L., Climent, A., LLena, C. (2019) In vitro evaluation of microleakage in Class II composite restorations: Highviscosity bulk-fill vs conventional composites. *Dental Materials Journal* 2019; 38(5): 721–727
- Guimarães GF, Marcelino E, Cesarino I, Vicente FB, Grandini CR, Simões R (2018). Minimization of polymerization shrinkage effects on composite resins by the control of irradiance during the photoactivation process. *J Appl Oral Sci*; 18;26.
- Ferro, K. and Chairman (2017) Glossary of Prosthodontic Terms. Rev. THE JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY. Vol. 117
- Furness A, Tadros MY, Looney SW, Rueggeberg FA (2014). Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites *J Dent*; 42(4):439-49.
- (Hibbeler et al 2006)
- Huete, R. (2007) RELACIONES INTERMAXILARES EN UNA PACIENTE CON PARÁLISIS FACIAL: REPORTE DE UN CASO CLÍNICO. *Revista Científica Odontológica*, vol. 3, núm. 2, octubre, pp. 58-64
- Ilie, N (2017). Impact of light transmittance mode on polymerisation kinetics in bulk-fill resin-based composites. *J Dent*; 63:51-59.
- Jafari. T, Homayoon Alaghehmad., and Ehsan Moodi. (2018) Evaluation of cavity size, kind, and filling technique of composite shrinkage by finite element *Dent Res J (Isfahan)*. Jan-Feb; 15(1): 33–39.
- Jyothi, M., Divya, V., Ravichandr. R., Mohan., B, Lakshman., V (2017) Microtensile bond strength of bulk-fill restorative composites to dentin. *Rev. J Clin Exp Dent*; 9(8)
- Kruly PC, Giannini M, Pascotto R, Tokubo L, Suga U, Marques A, Terada, S (2018). Meta-analysis of the clinical behavior of posterior direct resin restorations: Low polymerization shrinkage resin in comparison to methacrylate composite resin. *Plos one*; 21;13(2)
- Kuramochi, G. & Del Sol, M. (2013) Método para la generación de modelos de elementos finitos de dientes. *Int. J. Morphol.*, 31(3):997-1002.

- Loza-Herrero MA, Rueggeberg FA, Caughman WF, Schuster GS, Lefebvre CA, Gardner FM (1998). Effect of heating delay on conversion and strength of a post-cured resin composite. *J Dent* 77(2):426-31.
- Li J., Li, H., Fo, S (2008) A mathematical analysis of shrinkage stress development in dental composite restorations during resin polymerization. *Dent Mater*; 24(7):923-31.
- Magne, P. (2004). Restauraciones de porcelana adherida en los dientes anteriores, método biomimético. Quintessence: Barcelona –España
- Maldonado, J., Lombard, L., Gutiérrez, C., Canseco, J. (2015) Evaluación de dos técnicas para el registro de relación céntrica mandibular: arco gótico versus céntrica de poder. *Revista Odontológica Mexicana*. Vol. 19, Núm. 1.
- MÁRQUEZ, A., NAVARRO, R, RUIZ, J., JIMÉNEZ, J., BRITO, E., (2008) Oclusión funcional ideal. Posición articular y dentaria. *Rev. JORNADAS CANARIAS DE TRAUMATOLOGIA Y CIRUGIA ORTOPEDICA*. Vol. 22, 7-8.
- Moncada. E., Fernández<sup>1</sup>, J. Martín<sup>1</sup>, MJ. Caro<sup>1</sup>, C. Caamaño<sup>1</sup>, I. Mjor<sup>2</sup>, V. Gordan.(2007) Longevidad y Causas de Fracaso de Restauraciones de Amalgama y Resina Compuesta. *Revista Dental de Chile*; 99 (3).
- Moharamzadeh K, Hooshmand T, Keshvad A, Van Noort R. (2007). Fracture toughness of a ceramic-resin interface. *Dent Mater*. 2008;24(2):172-177. doi:10.1016/j.dental.04.002
- Nematollahi, H., Bagherian, A., Ghazvini, K., Esmaily, H and Azadegan. M. (2017) Microbial microleakage assessment of class V cavities restored with different materials and techniques: A laboratory study. *Rev. Dent Res J (Isfahan)*. 2017 Sep-Oct; 14(5): 344–350
- Nika, S., Matej., P., Hrvoje, S., Ruža B (2018). Real-time Temperature Monitoring During Light-Curing of Experimental Composites. *ACTA STOMATOLOGICA CROATICA*. 52(2):87-96.
- Nur, M., Nathan., L , Wala M., Retrouvey, J., Cerruti, M y Faleh, T (2014). Development of a composite resin disclosing agent based on the

- understanding of tooth staining mechanisms *Journal of Dentistry*, Vol 42, Num 6, Pág 697-708.
- Okoye L O, Onah I I, Ekwueme O C, Agu K A (2020) Pattern of malocclusion and caries experience in unrepaired cleft lip and palate patients in Enugu. *Rev. Niger J Clin Pract* 2020;23:59-64
- OMRAN, T., GAROUSHI, S., LASSILA, L, SHINYA, A. PEKKA, K. (2019) Bonding interface affects the load-bearing capacity of bilayered composites. *Rev. Dental Materials Journal* 2019; 38(6): 1002–1011 margaritaalfa
- Opdam, N., F.H. van de Sande,<sup>2</sup> E. Bronkhorst,<sup>1</sup> M.S. Cenci,<sup>2</sup> P. Bottenberg,<sup>3</sup> U. Pallesen,<sup>4</sup> P. Gaengler,<sup>5</sup> A. Lindberg,<sup>6</sup> M.C.D.N.J.M. Huysmans,<sup>1</sup> and J.W. van Dijken<sup>6</sup>. (2014) Longevity of Posterior Composite Restorations. A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dent Res*; 93(10): 943–949
- Ortiz , D., & Masafierro, M. J. (2014). Adaptación, profundidad de polimerización y sellado marginal de restauraciones realizadas con una resina compuesta microhíbrida fluidificada y con Sonicfill®. *Rev. Biomater. Sociedad científica Grupo Chileno de Materiales Dentales.*, 2(1), 32-53.
- Park J, Chang J, Ferracane J, Lee IB: “How should composite be layered to reduce shrinkage stress: Incrementally or bulk filling?” *Dental Materials* 2008; 24:501-1505.
- RAMIREZ, L. M. & BALLESTEROS, L. E. Oclusión Dental: ¿Doctrina mecanicista o lógica morfofisiológica? *Int. J. Odontostomat.*, 6(2):205-220, 2012
- Ryta, L., Małgorzata, M., Katarzyna, K., Maja, B., Dariusz, C. (2018). Analysis of Base Monomer Elution from 3 Flowable Bulk-Fill Composite Resins Using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). *Medical Science Monitor*. 24: 46.
- Serrano,C.; Achiardi, A.; Galvis, Eva.; Luna, L; Moreno, G. (2009). Comportamiento biomecánico de cavidades clase I y II para amalgama

y resina, analizado por el método de elementos finitos. Univ. odontol ; 28(60): 9-17, ene.-dic. 2009. ilus

- Srivastava, B., Devi, N., Gupta, N., Singh, R. (2018). Comparative Evaluation of Various Temperature Changes on Stress Distribution in Class II Mesial-occlusal-distal Preparation restored with Different Restorative Materials: A Finite Element Analysis. Rev. International Journal of Clinical Pediatric Dentistry, May-June 2018;11(3):167-170.
- Talley, M., Katagiri, M., Elorza, H. (2007) Casuística de maloclusiones Clase I, Clase II y Clase III según Angle en el Departamento de Ortodoncia de la UNAM. Revista Odontológica Mexicana. Vol. 11, Núm. 4. pp 175-180
- Trivedi, S. (2014). Finite element analysis: A boon to dentistry. Journal of oral biology and craniofacial research. 200-203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobcr.2014.11.008>
- Veiga, J., Fuente, E., Zimmermann, M. (2008). Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño. Rev. Scielo. Vol. Nº 210: 81-88.

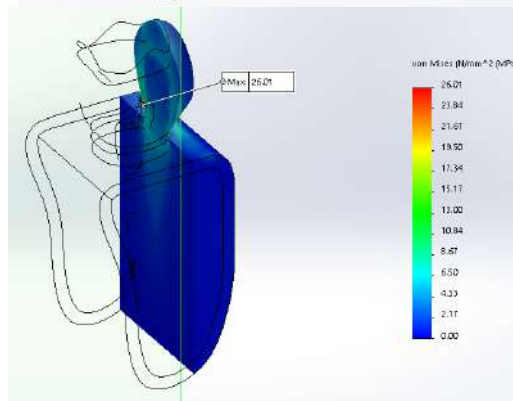
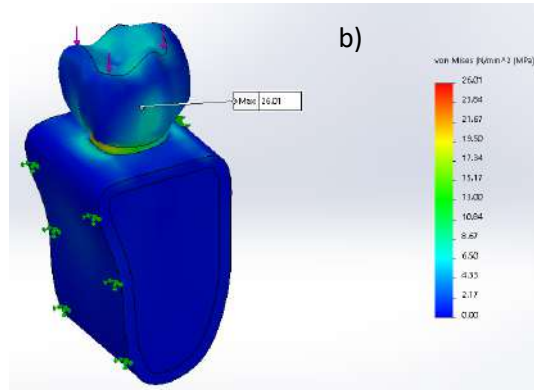
## **ANEXOS**



## ANEXO 1

Figura Resultados del esfuerzo de Von Mises de masticación, diente sano. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva

a)



c)

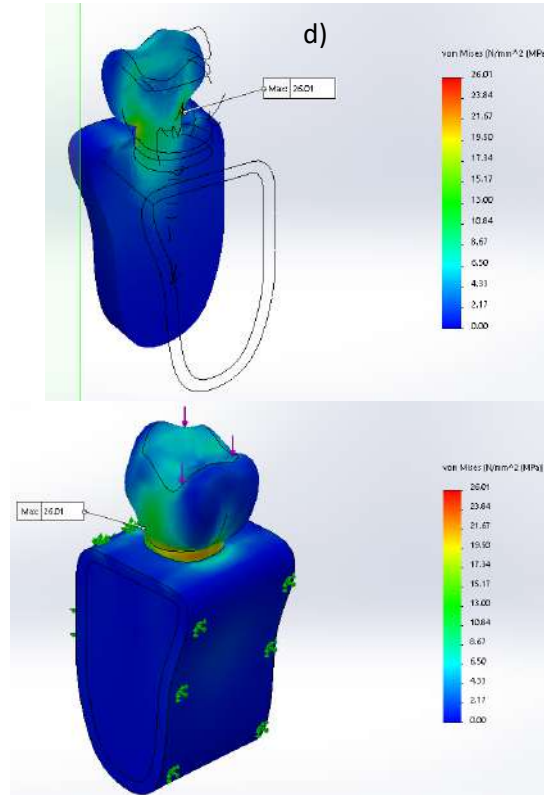
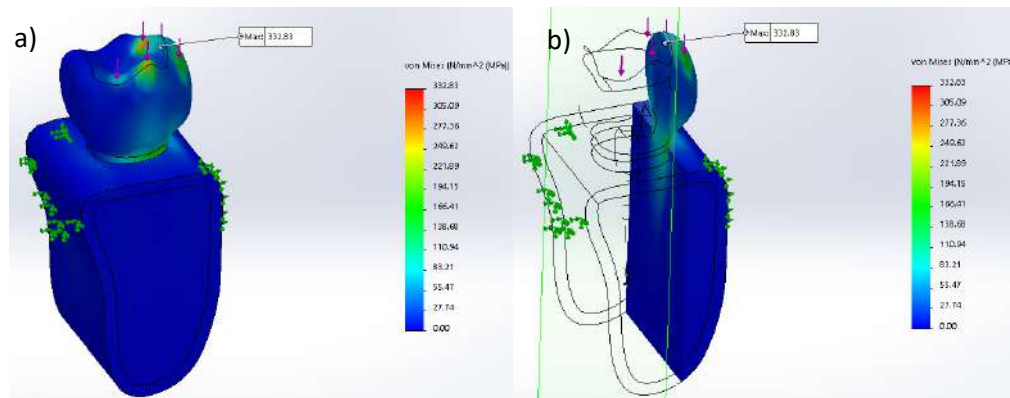


Figura Resultados del esfuerzo de Von Mises en deglución, diente sano. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva en diente natural.



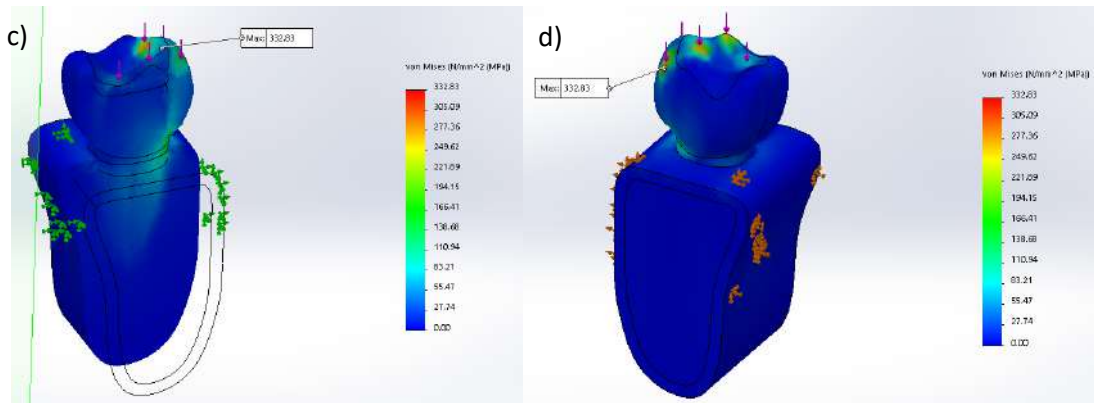
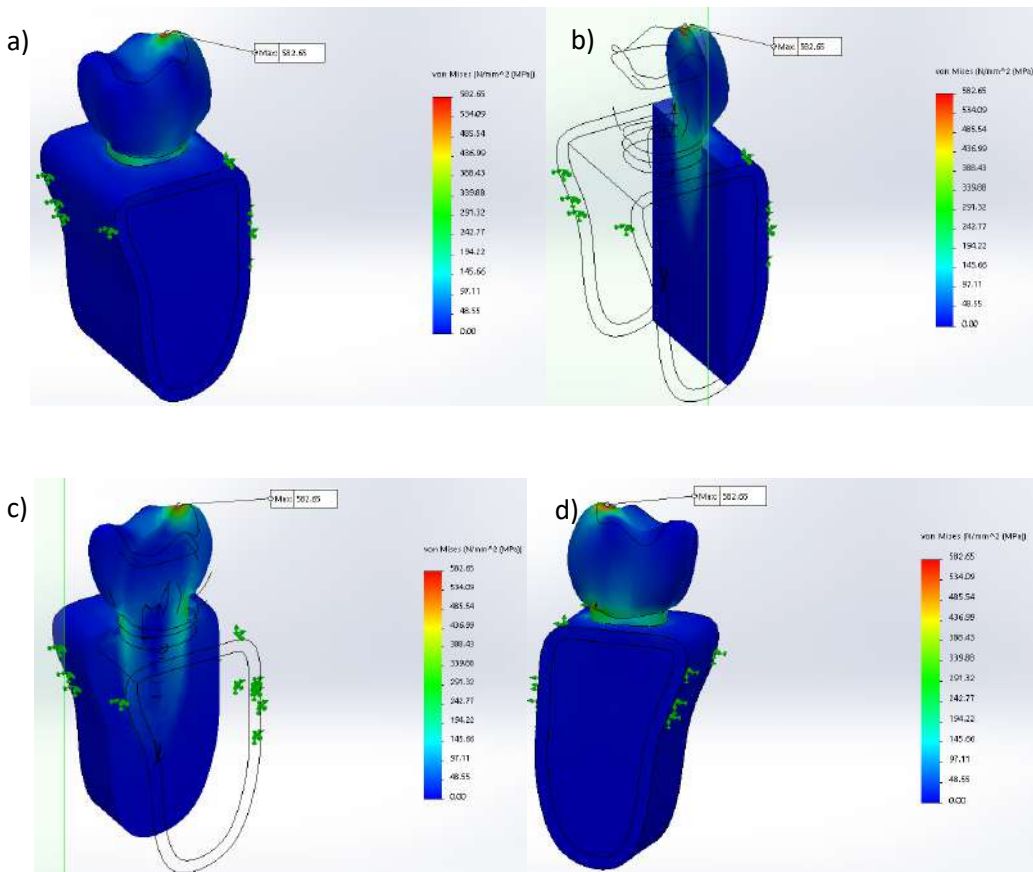


Figura Resultados del esfuerzo de Von Mises en deflexión, diente sano. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva en diente natural.



**Teoría de Factor de Seguridad de premolar sano en masticación, deglución, deflexión.**

Figura Factor de Seguridad de masticación, diente sano a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica

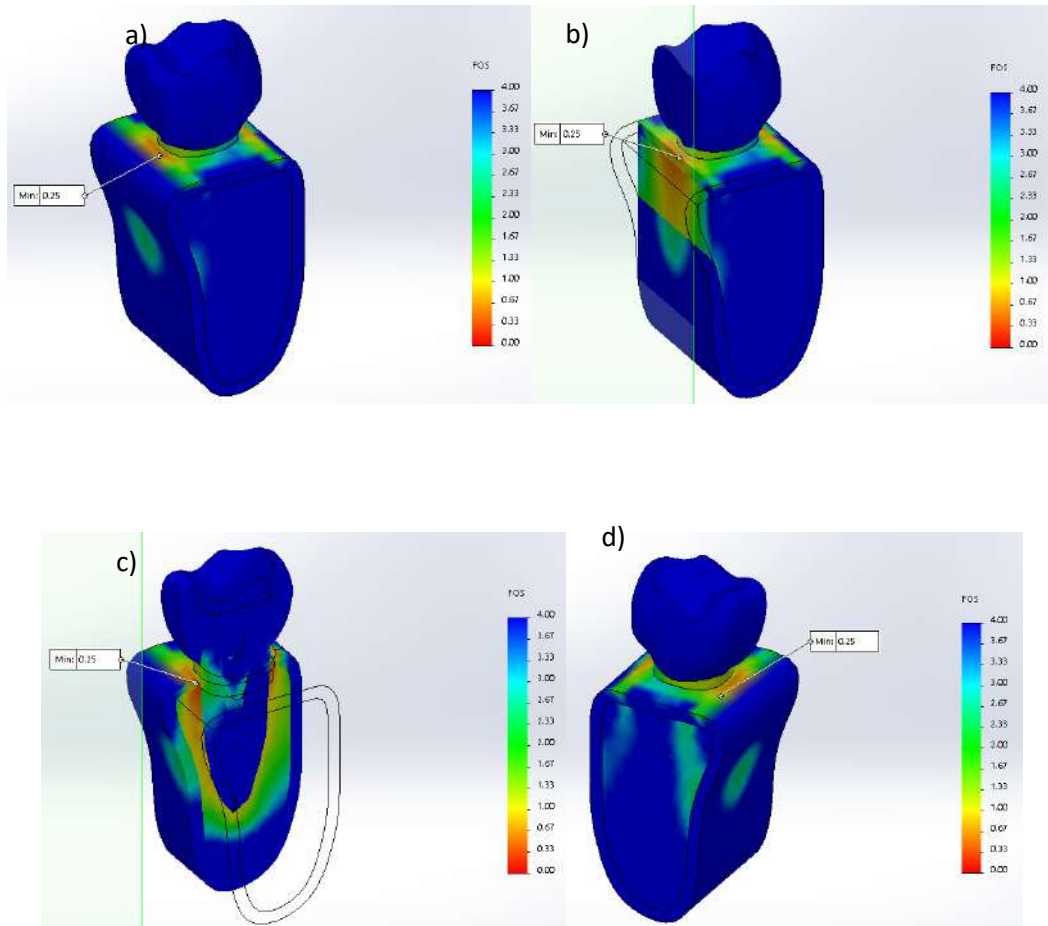


Figura Factor de Seguridad en deglución, diente sano. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva en diente natural.

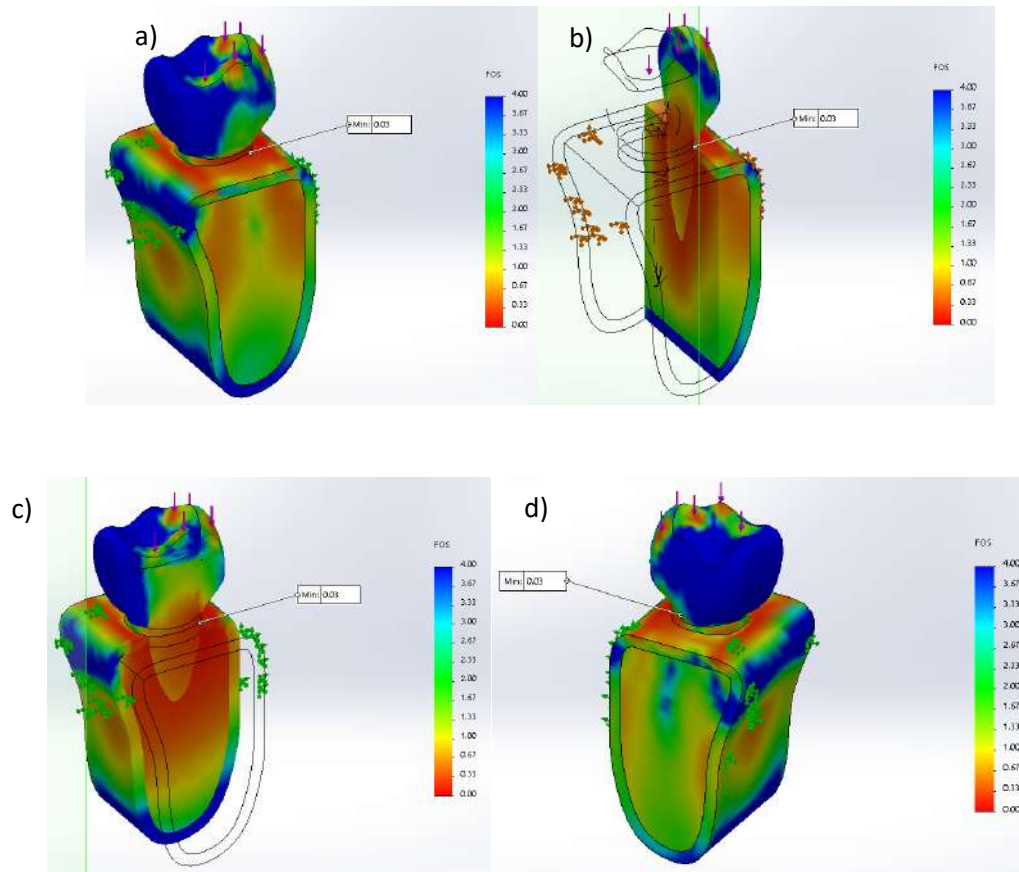
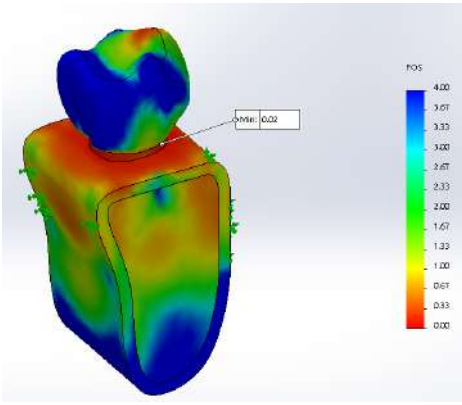
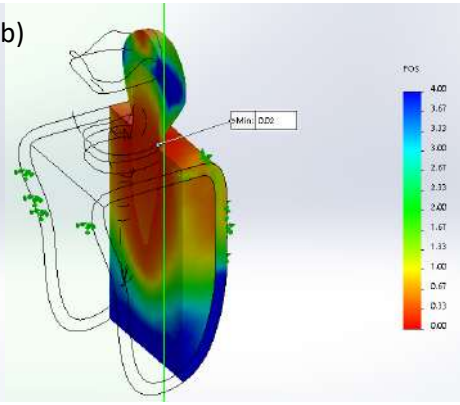


Figura Factor de Seguridad en deflexión, diente sano. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva en diente natural.

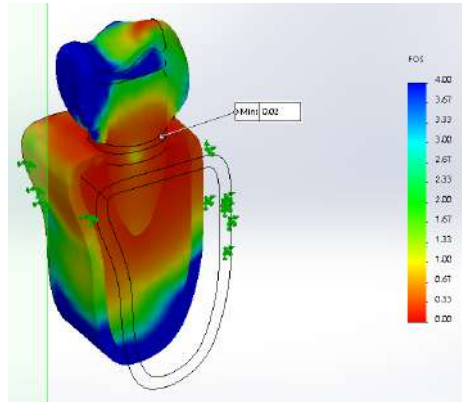
a)



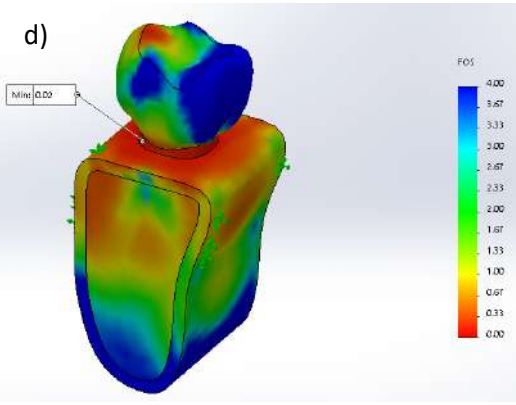
b)



c)



d)



## RESULTADOS: PREMOLAR RESTAURADO CON RESINA BULK.

Teoría de Falla de Von Mises de premolar Bulk en masticación, deglución, deflexión.

a)

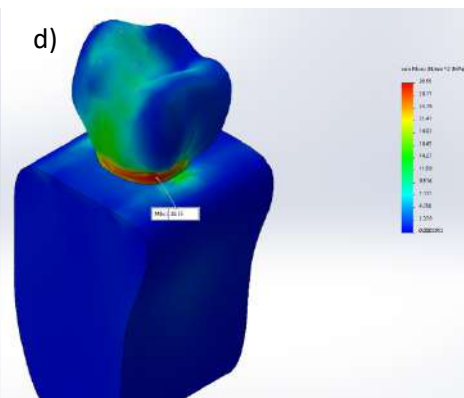
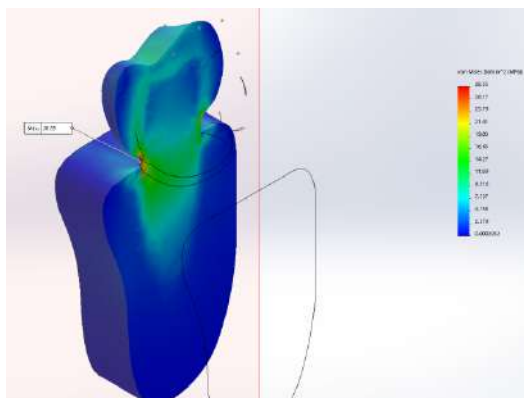
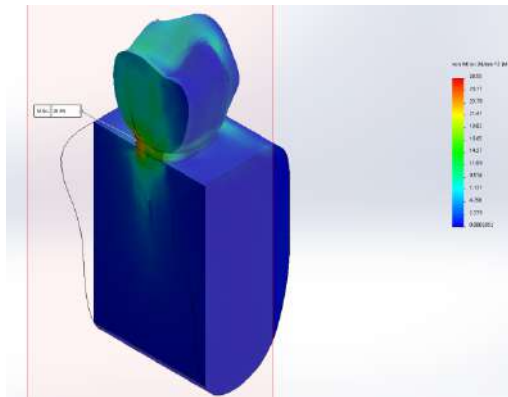
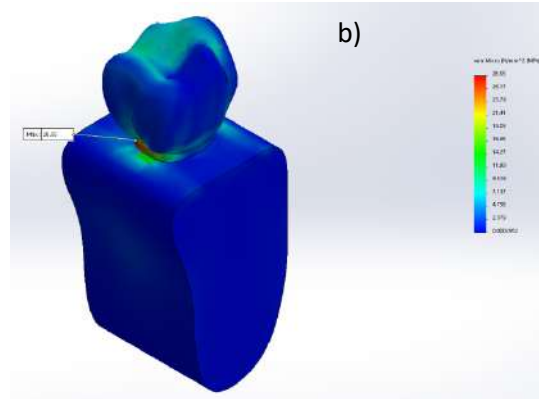


Figura Resultados del esfuerzo de Von Mises En deglución, premolar Bulk. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva

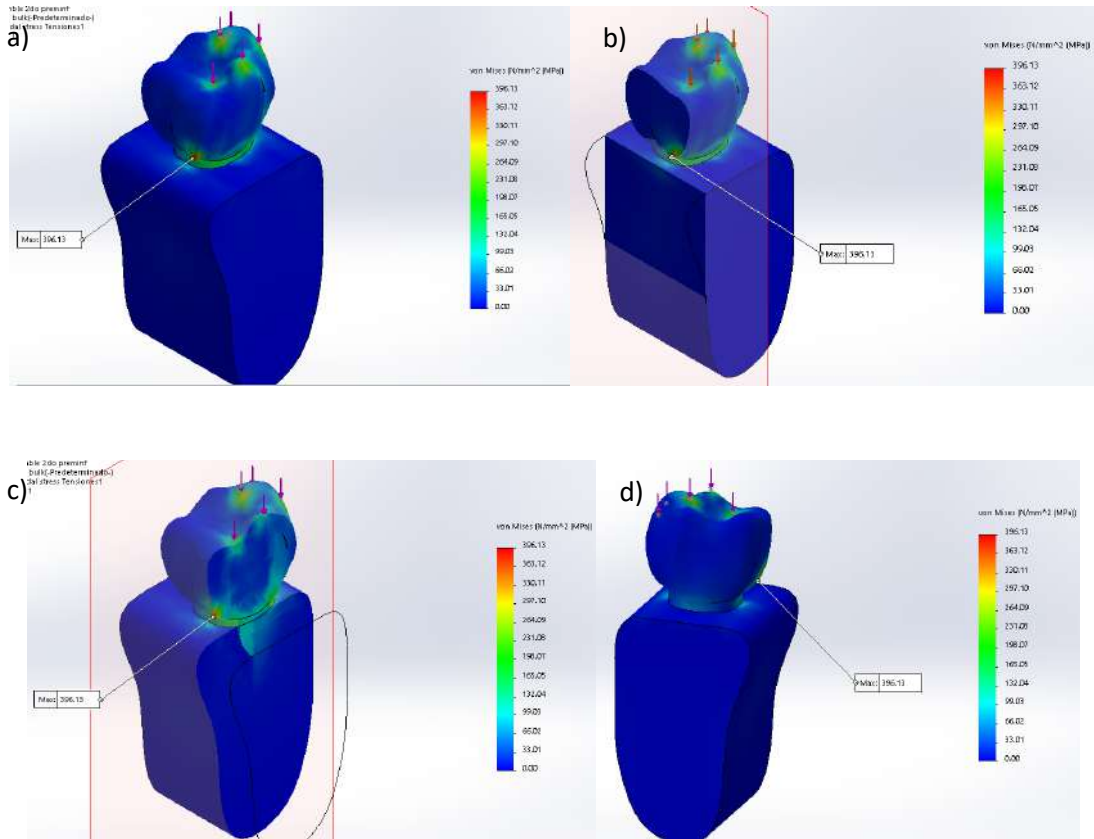
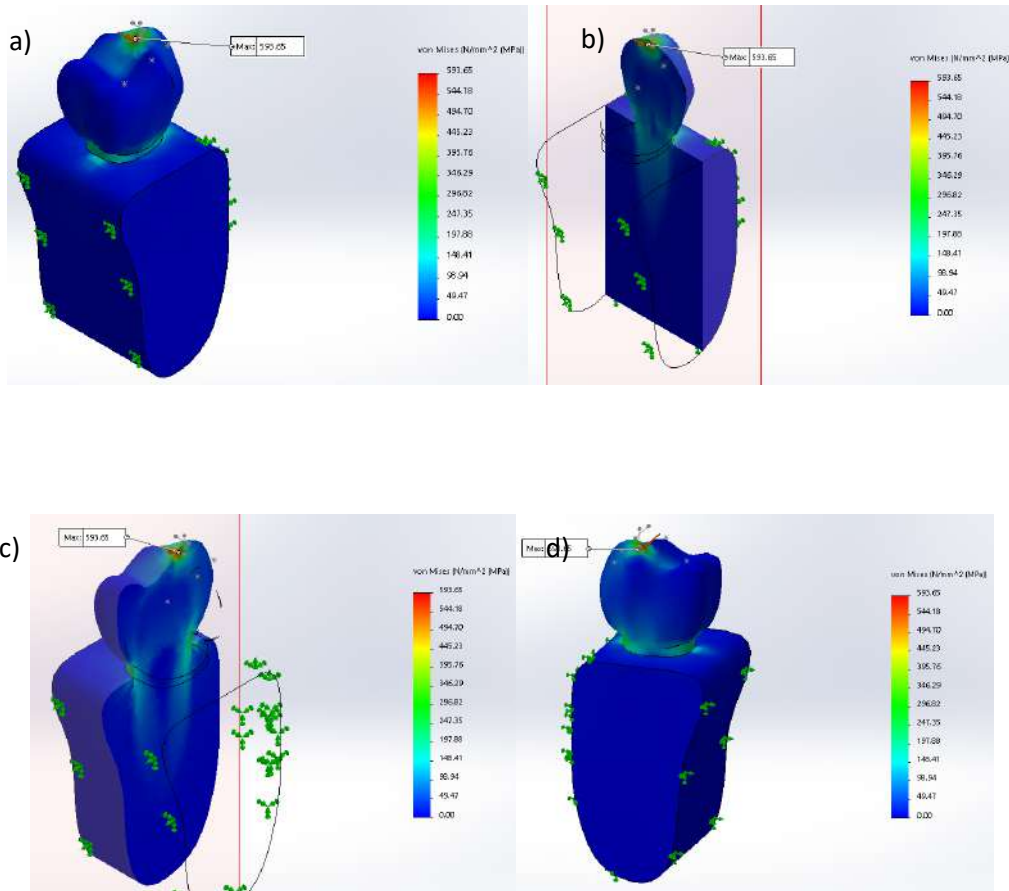


Figura Resultados del esfuerzo de Von Mises con tangencial de 600 N a 45 grados a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva.



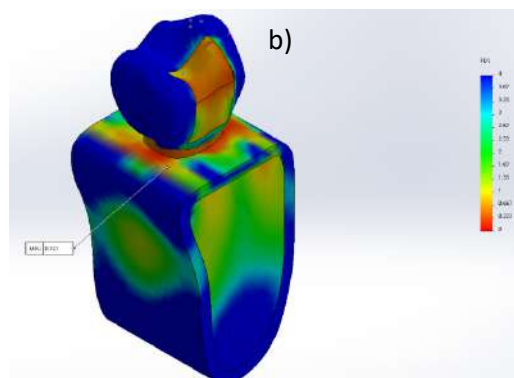


## Teoría de Factor de Seguridad de premolar Bulk en masticación, deglución, deflexión.

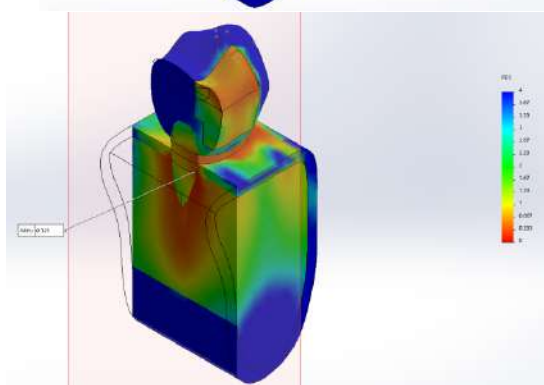
Los factores de seguridad del premolar con resina Bulk, indican que los esfuerzos se distribuyen correctamente en el hueso.

Figura Factor de Seguridad en masticación, premolar Bulk. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva

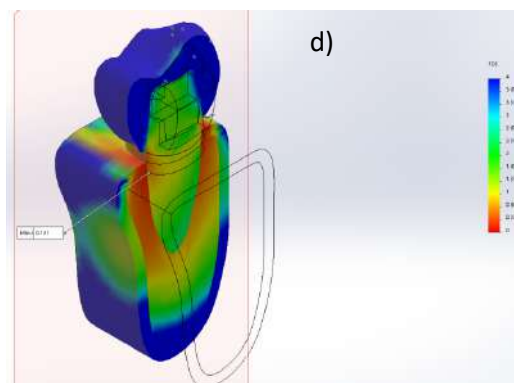
a)



b)



c)



d)

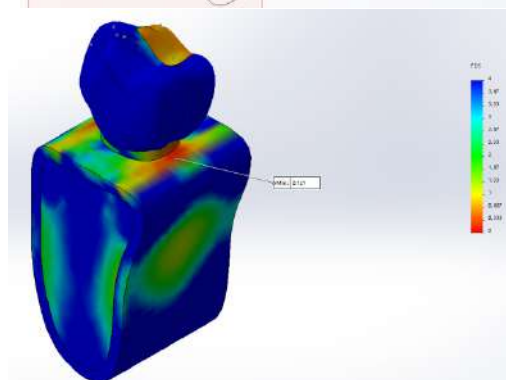


Figura Factor de Seguridad en deglución, premolar Bulk. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva.

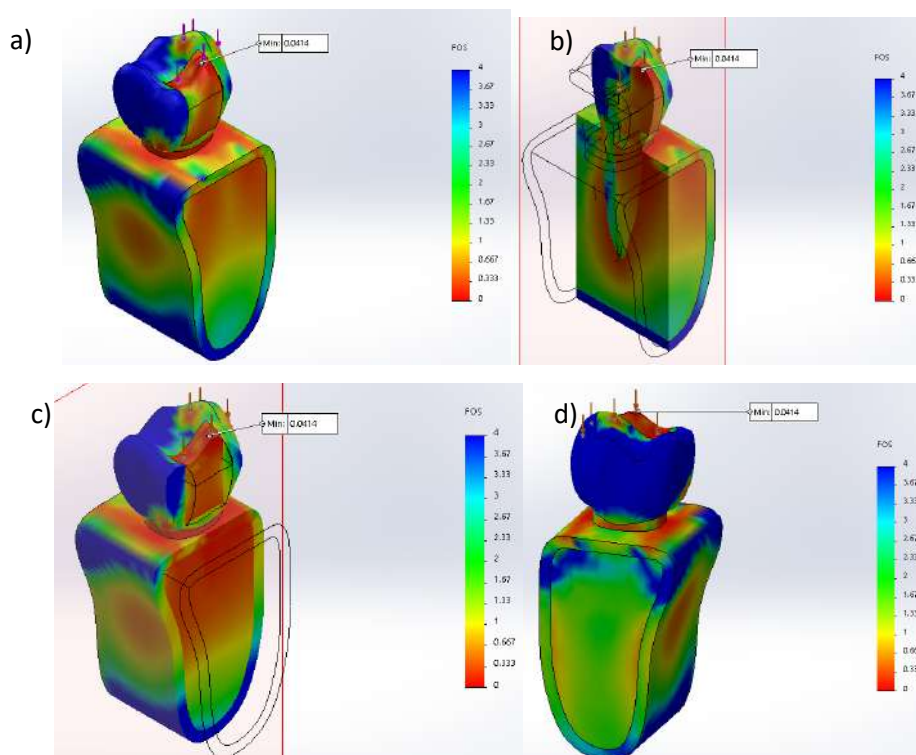
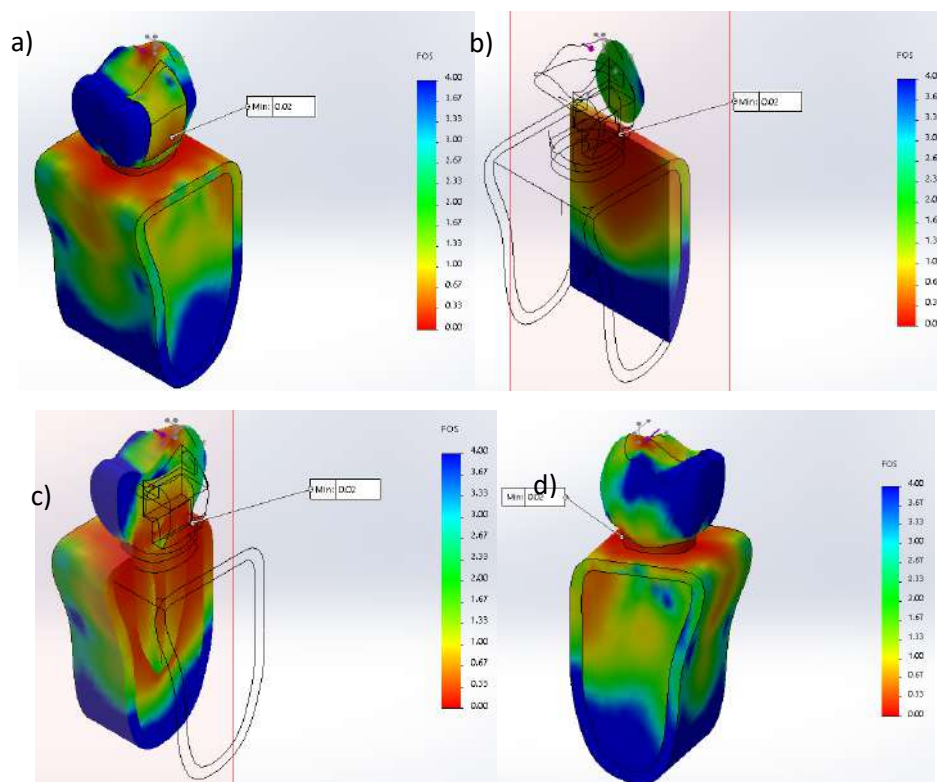


Figura Factor de Seguridad en deflexión, diente Bulk. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva



## RESULTADOS: PREMOLAR RESINA NANOCOMPUESTO

Teoría de Falla de Von Mises de premolar restaurado con resina nanocompuesta en masticación, deglución, deflexión.

Figura Resultados del esfuerzo de Von Mises en masticación, diente nanocompuesto. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva

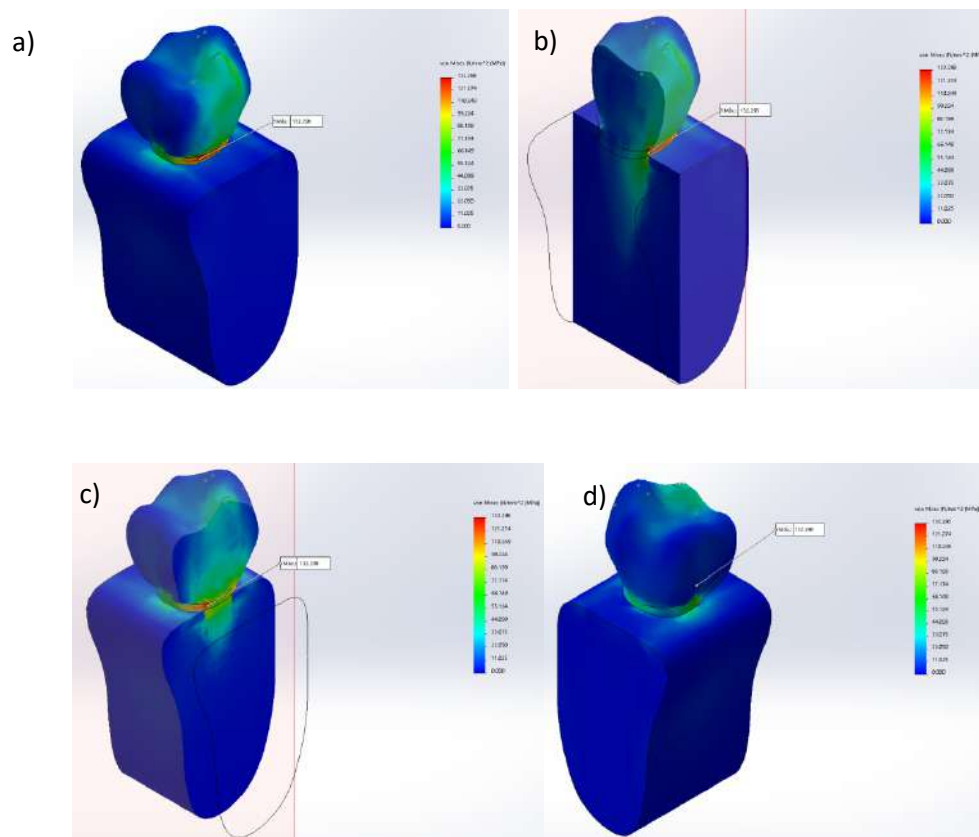


Figura Resultados del esfuerzo de Von Mises en deglución, diente nanocompuesto. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva.

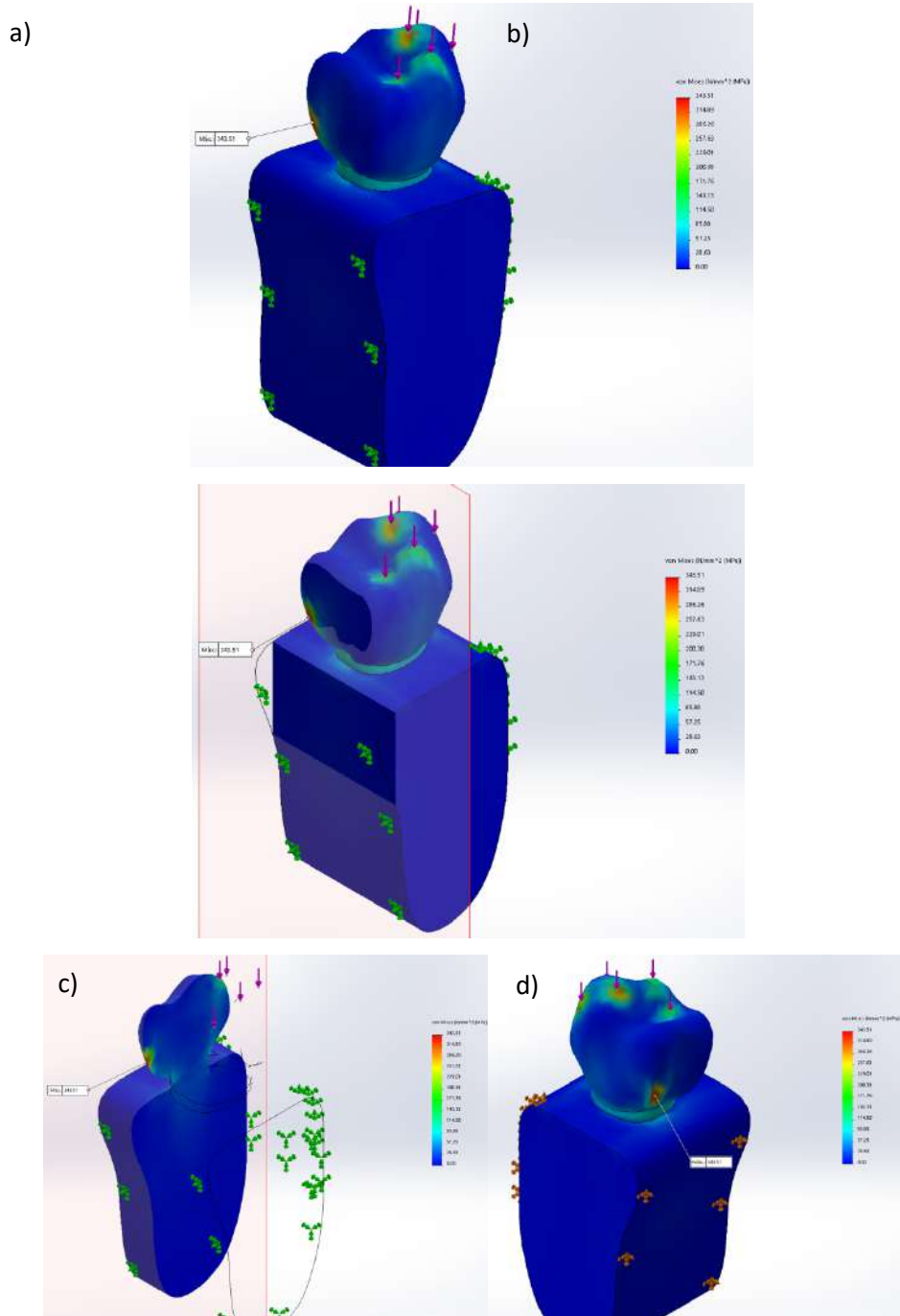
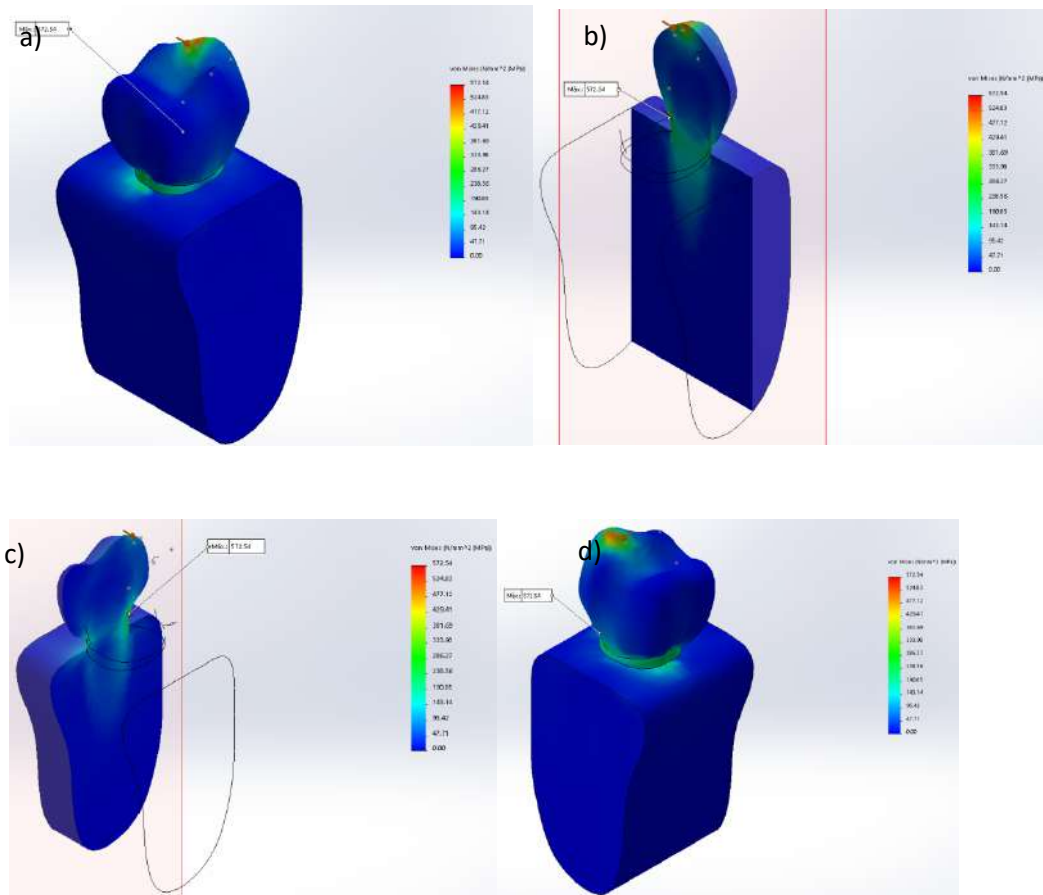


Figura Resultados del esfuerzo de Von Mises en deflexión, diente nanocompuesto. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva



## Teoría de Factor de Seguridad de premolar restaurado con resina nanocompuesta en masticación, deglución, deflexión.

El factor de seguridad en las tres situaciones indica que la distribución de estrés en el hueso es correcta.

Figura Factor de Seguridad de masticación, diente nanocompuesto. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva

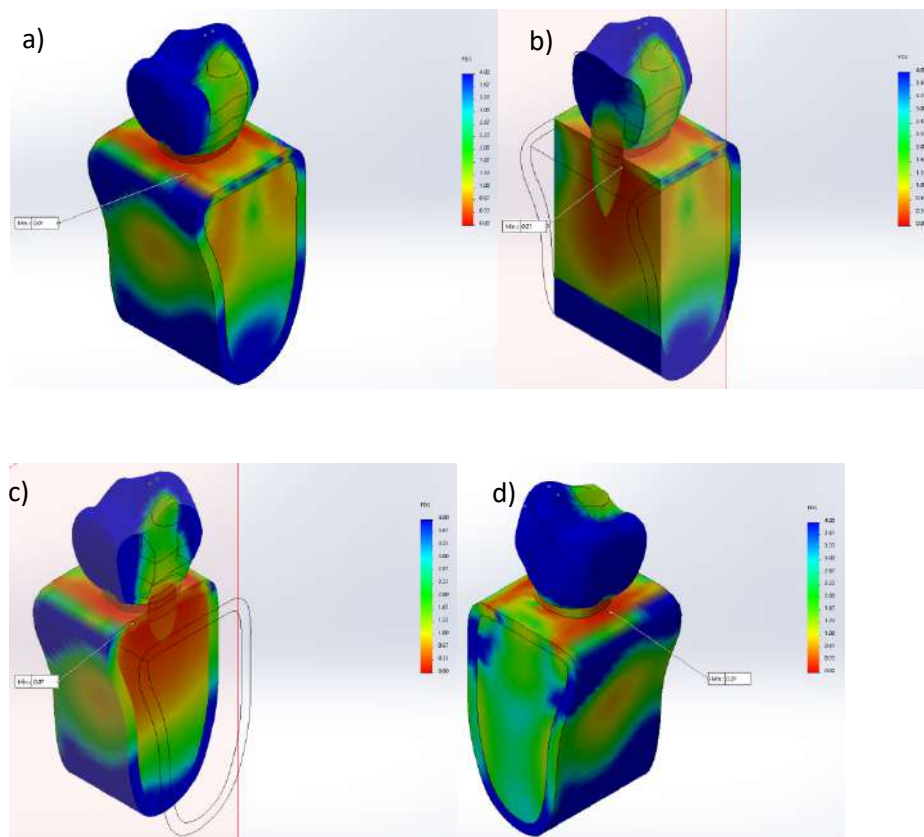


Figura Factor de Seguridad en deglución, diente nanocompuesto. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva

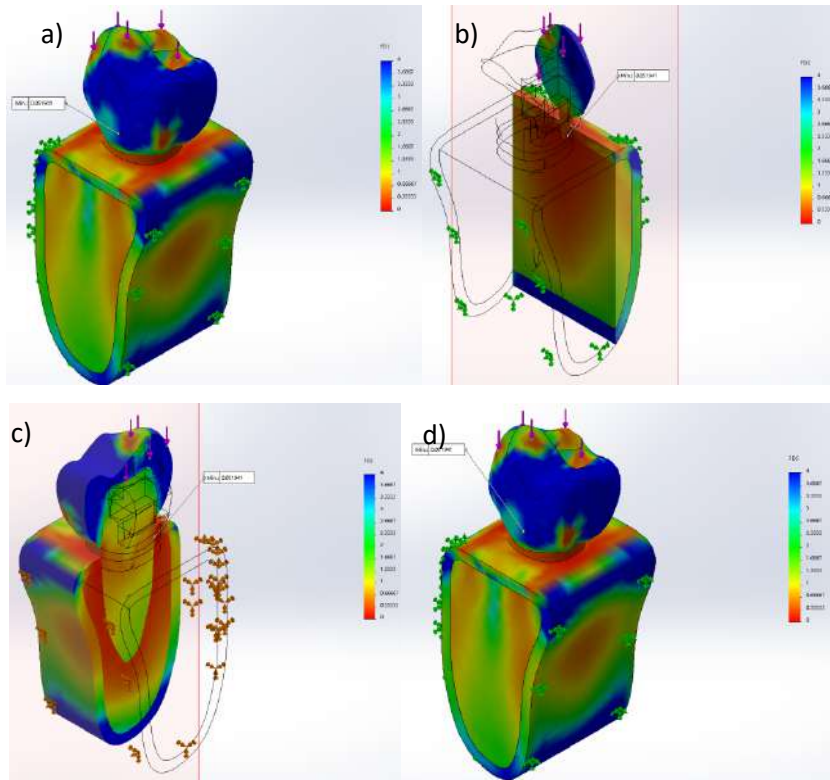




Figura Factor de Seguridad en deflexión, diente nanocompuesto. a) Vista Isométrica; b) y c) Vista Isométrica en corte d) Vista isométrica desde otra perspectiva

