



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA

**DISTRIBUCIÓN DE “*STRESS*” A NIVEL
CERVICAL DE UNA PRIMERA
PREMOLAR INFERIOR SEGÚN
MORFOLOGÍA DE LA LESIÓN NO
CARIOSA Y CALCIFICACIÓN PULPAR.
MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Tesis para obtener el Título de Cirujano Dentista

Alessandra Cecilia Vasquez Palacios

Lima – Perú

2018

ASESORES

Esp. Victor Calderón Ubaqui

Departamento Académico de Cirugía Oral Y Maxilofacial

Mg. Daniel Paredes Ruiz

Departamento Académico de Odontología Social

Ing. Eginhaldo Navarro Honda

Departamento de Ciencias Exactas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi familia, a los asesores y doctores que me apoyaron con dedicación y paciencia en el desarrollo de esta Tesis.

RESUMEN

Objetivos: Analizar mediante el método de elementos finitos (MEF) la distribución de “stress” a nivel cervical según tipo de lesión no cariosa y calcificación pulpar en primeras premolares inferiores. **Materiales y Métodos:** Se creó un modelo de premolar inferior con MEF a partir de un registro tomográfico cone beam (TCB), estas imágenes se reconstruyeron hasta conformar el mallado 3D en el software ScanIp (Synopsis, INC.). Se obtuvieron nueve mallados tetraédricos los cuales fueron exportados al software MEF de análisis estructural mecánico ANSYS 18 (ANSYS, INC), donde a cada uno se le aplicó una carga oclusal de 500N en un dirección de +45° sobre la vertiente externa de la cúspide vestibular. Se analizó la distribución de esfuerzos en forma cualitativa y cuantitativa registrada en tablas de contingencia y gráficos. **Resultados:** La concentración de “stress” aumenta nivel de dentina y disminuye nivel de esmalte excepto para lesión en cuña, a nivel general cambia significativamente según tipo de lesión, siendo mayor en tipo cóncava. Pero a nivel pulpar aumenta significativamente para la lesión tipo cuña con 75% de calcificación. **Conclusiones:** El tipo de lesión cervical y la calcificación pulpar influyen en la distribución de “stress” de una premolar inferior. La concentración de “stress” aumenta a planos más inferiores para la pieza sin lesión y lesión cóncava. La lesión tipo cuña muestra mayores valores para la capa de esmalte.

PALABRAS CLAVES: Lesiones-cervicales-no-cariosas, Análisis de elementos finitos, Calcificación-pulpar, Oclusión-dental.

ABSTRACT

Objetives: The aim of the study was to analyze by finite element method the distribution of stress in cervical according to the type of non carious lesion and pulpal calcification in lower first premolars. **Material and Methods:** A model of a lower premolar was created by finite element method from a tomographic cone beam record; these images were reconstructed to form a 3D mesh in the software ScanIp (Synopsis, INC.). Nine tetrahedral meshes were obtained, which were exported to the finite element mechanical structural analysis software ANSYS 18 (ANSYS, INC), where an occlusal load of 500N was applied with a direction of + 45° on the external slope of the buccal cusp. The qualitative and quantitative distribution of stress recorded were analyzed in contingency tables and graphs. **Results:** The concentration of stress increases in dentin and decreases in enamel except for wedge form lesion, at general it changes significantly according to the type of lesion, being higher in concave lesion. The pulp concentration of stress level it increases significantly for the wedge lesion with 75% calcification. **Conclusions:** The type of cervical lesion and pulpal calcification influence on the stress distribution of a lower premolar. The concentration of stress increases in lower planes for the premolar without lesion and concave lesion. The wedge-type lesion shows higher values in the enamel layer.

KEYWORDS: cervical-non-carious lesions, finite element analysis, pulp-calcification, dental occlusion.

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Módulos de elasticidad y coeficiente de Poisson según material	21
Tabla 2.	Conformación del mallado, según triángulos y tetraedros	21

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Distribución de “stress” en una premolar inferior por cortes según tipo de lesión no cariosa y calcificación pulpar.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de morfologías de lesiones no cariosas según Michael <i>et al.</i>	10
Figura 2. Simulaciones para cada tipo de lesión y calcificación pulpar.	19
Figura 3. Simulaciones de una premolar inferior según tipo de lesión y calcificación pulpar.	22
Figura 4. Simulaciones por capas de una pieza sin lesión A) Sin calcificación pulpar, B) Calcificación pulpar 50% C) Calcificación pulpar 75%.	26
Figura 5. Simulaciones por capas de una pieza con lesión cóncava A) Sin calcificación pulpar, B) Calcificación pulpar 50% C) Calcificación pulpar 75%.	27
Figura 6. Simulaciones por capas de una pieza con lesión cuña A) Sin calcificación pulpar, B) Calcificación pulpar 50% C) Calcificación pulpar 75%.	28
Figura 7. Cortes por planos, para pieza sin lesión cervical no cariosa	32
Figura 8. Cortes por planos, para pieza con lesión tipo cóncava	33
Figura 9. Cortes por planos, para pieza sin lesión tipo cuña.	34

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Distribución de estrés en una premolar inferior sin lesión por capas.	29
Cuadro 2. Distribución de estrés en una premolar inferior con lesión cóncava por capas.	30
Cuadro 3. Distribución de estrés en una premolar inferior con lesión en cuña por capas	31

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

MEF	:	Método de elementos finitos
LCNC	:	Lesión cervical no cariosa
Vo	:	En sentido vertical
Ho	:	En sentido horizontal
Prox	:	Hacia los proximales mesial y distal
V	:	Vestibular
D	:	Distal
M	:	Mesial
L	:	Lingual
VD	:	Vestíbulo distal
MV	:	Mesio vestibular
ML	:	Mesio lingual
DL	:	Disto lingual
DV	:	Disto vestibular
SC	:	Sin calcificación pulpar
C50	:	50% de calcificación pulpar
C75	:	75% de calcificación pulpar

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	4
II.1 Planteamiento del problema	4
II.2 Justificación	4
III. MARCO TEÓRICO	5
IV. OBJETIVOS	14
IV.1 Objetivo general	14
IV.2 Objetivos específicos	14
V. HIPÓTESIS	15
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	16
VI.1 Diseño del estudio	16
VI.2 Muestra	16
VI.2.1 Unidad de muestreo	16
VI.2.2 Tamaño muestral	16
VI.2.4 Unidad de análisis	16
VI.3 Criterios de selección	17
VI.4 Variables	17
VI.4.1 Variable dependiente	17
VI.4.2 Variable independiente	18
VI.5 Técnicas y procedimientos	19
VI.6 Plan de análisis	23
VI.7 Consideraciones éticas	23
VII. RESULTADOS	24
VIII. DISCUSIÓN	36
IX. CONCLUSIONES	41
X. BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	

I. INTRODUCCIÓN

Las lesiones cervicales no cariosas son motivo de muchas consultas dentales, pues no solo significan una señal patológica si no que demandan estética por parte del paciente ya que afectan piezas posteriores como anteriores.¹ Actualmente su etiología no se ha determinado específicamente, pero se dice que corresponde a un inicio multifactorial, dentro del cual las fuerzas oclusales tienen un rol directo en la aparición y progresión de las lesiones.

La importancia de saber su etiología radica en poder brindar un tratamiento o prevención adecuados para cada caso. Las lesiones cervicales no cariosas se tipifican en abfracción, erosión y abrasión, que conforman un grupo de lesiones cervicales que tienen en común, como su nombre lo indica, no ser originadas por caries dental.

La abfracción fue descrita como una pérdida patológica de los tejidos de la estructura dental causada por fuerzas biomecánicas de procedencia oclusal, las cuales se deben a la flexión y finalmente a la fatiga del esmalte en un sitio alejado a la carga. Se presentan con mayor frecuencia en los premolares de personas mayores de 35 años.¹ En el estudio de estas lesiones debería ser tomado en cuenta la integridad total del diente y toda su morfología. Pues, el recibir de fuerzas o cargas se da una reacción particular en cada tipo de tejido que conforma el órgano dentario.

La distribución de fuerzas que recaen sobre el diente en el día a día sea por una función natural o alguna patología es compleja y más aún si las piezas dentarias han recibido alguna restauración o preparación en su integridad. Pero a pesar de eso, existe una interrogativa que se basa en cómo la distribución de cargas se comporta ante la función y morfología del diente.¹ Esta se encuentra en los distintos grados de estrés que se presenta en la estructura y el grado de resistencia o estabilidad de cada tejido que lo conforma.

Las abfracciones están clasificadas según su tipo de forma como superficial, cóncava, irregular, entallada y en forma de cuña². Esta se basa en sus características pudiendo basar su etiología según su descripción, facilitando el diagnóstico, prevención y tratamiento, además de proporcionar datos acerca de su relación con posibles alteraciones en la estructura dental.

Las fuerzas oclusales que recaen sobre los dientes y su estructura de soporte pueden traer como consecuencia signos y síntomas como movilidad dental, enfermedad periodontal, reabsorción de hueso alveolar, irritación de la pulpa dental, calcificación de la cámara y conducto radicular entre otras. Además, lo anterior depende de la dirección y cantidad de la fuerzas aplicada.

Al ser la pulpa, el órgano sensorial del diente, esta es altamente sensible a los estímulos mecánicos, térmicos y eléctricos. La pulpa conserva su capacidad de formar dentina durante toda la vida por lo que compensa la pérdida dada por traumatismo mecánico, reduciendo así el tamaño de la cámara pulpar.³ Existe una íntima relación entre la pulpa, dentina y esmalte, por lo que cualquier estímulo tiene repercusión en la pulpa, la cual suele defenderse mediante reacciones inflamatorias, deposición de dentina terciaria y modificaciones de naturaleza degenerativa.

El presente estudio se realizó mediante el método de elementos finitos (MEF), los cuales nos permiten evaluar la influencia de las diferentes propiedades de la morfología y composición dentaria¹. Además, nos ayuda a revelar las zonas de tensión interna en los tejidos dentales mostrándolo de una manera clara y directa mediante gráficos.

Se buscó analizar mediante MEF la distribución de las fuerzas a nivel cervical en las lesiones no cariosas y relacionarlo según el tipo de lesión no cariosa y la calcificación de la cámara pulpar y conducto radicular en primeras premolares inferiores humanas.

II. PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

II.1 Planteamiento del problema

La presente investigación tuvo como fin comprender como se relacionan los diferentes factores oclusales que provocan adaptaciones y cambios en la estructura dental. Se requiere diferentes recursos para comprender los efectos de cómo se relacionan los factores etiológicos.

Se planteó la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto en la distribución de fuerzas a nivel cervical en lesiones no cariosas según la morfología de la lesión y la calcificación de la cámara pulpar y el conducto radicular en primeras premolares inferiores?

II.2 Justificación

Siendo un área de controversia actual la discusión sobre la correcta etiología de las lesiones cervicales no cariosas, es relevante profundizar en la implicancia del lugar de aplicación de las cargas y como esas están relacionadas con su morfología y la calcificación del órgano pulpar. Conocerlo claramente, no solo nos dará un conocimiento teórico etiológico de las lesiones cervicales no cariosas, sino planteará posibles explicaciones biomecánicas de su progresión.

También, es de importancia para los posibles tratamientos restaurativos o preventivos, además servirá como base teórica clínica para evitar su progresión. Se evidenciará la posible relación con la calcificación del órgano pulpar lo que brindará mayor conservación de la vitalidad del diente.

III. MARCO TEÓRICO:

III.1 Lesiones cervicales no cariosas

La abfracción es una lesión cervical no cariosa que se caracteriza por la pérdida de estructura dental causada por fuerzas biomecánicas debido a fuerzas oclusales con mala dirección o de gran magnitud. Se ubican en la unión amelo cementaria pudiéndose encontrar tanto en la cara lingual como vestibular del diente. Suelen presentarse con mayor frecuencia cuando la edad del paciente es mayor y suelen mostrarse mucho más acentuadas que en uno joven³.

Se ha encontrado que los dientes ubicados en el maxilar superior son los más afectados y la mayor prevalencia se da en la superficie bucal. La mayor prevalencia de estas se da en los primeros premolares y esto se puede deber a que poseen menos capacidad de absorber fuerzas oblicuas y laterales que ocurren en los movimientos de función en grupo en comparación con los caninos.⁵ La posición de los premolares en la arcada dentaria también tiene un efecto importante, los primeros premolares se encuentran perpendiculares al hueso alveolar, pero sus cúspides generan una fuerza inclinada con los dientes antagonistas. Este efecto tiende a que las cúspides se inclinen al lado bucal cuando la mandíbula hace movimientos laterales, causando estrés cervical y por consiguiente abfracciones.⁵

Este tipo de lesiones puede traer consigo sintomatología de sensibilidad aumentada, posible exposición pulpar, fractura de restauración que incluyan la zona cervical.³ Pero la mayor incomodidad para el paciente es su defecto estético de dentina expuesta.³ Su etiología es multifactorial, pero en los últimos años se le atribuye con mayor frecuencia a las fuerzas biomecánicas, las cuales se deben a la flexión y finalmente fatiga del esmalte y dentina en una zona alejada del punto de carga inicial.¹

III.2 Distribución de “*stress*” en lesiones cervicales no cariosas

Según estudios foto elásticos, se reporta que cuando las cúspides dentales son cargadas oblicuamente, la mayor concentración de estrés se da en las áreas cervicales.⁴ Además, cuando las fuerzas son aplicadas sobre las premolares superiores se producen momentos de fuerza alrededor de los centros de resistencia (nivel de la cresta alveolar). La prevalencia de lesiones cervicales a nivel bucal, se atribuye a que la distancia entre las cúspides bucales y sus centros de resistencia son mayores que en las cúspides linguales.⁴

Por otro lado, se le atribuye la etiología de estas lesiones a la teoría de flexión dental, la cual nos dice que las fuerzas oclusales aplicadas en una dirección incorrecta, por lo general fuerzas laterales y de excesiva magnitud cíclicamente y excéntricas originan tensiones que causan interrupción entre los cristales de hidroxiapatita dando lugar a grietas en el esmalte y una eventualidad pérdida de tejido del esmalte y dentina.^{3, 4} Además, las fuerzas de mayor magnitud son los de compresión, aspecto que confirma la teoría de aparición de las lesiones cervicales no cariosas, por la presencia de fuerzas compresivas perpendiculares a los prismas del esmalte, los que generan una mayor deformación en este tejido, alterando las uniones y permitiendo su desmoronamiento. Por lo que la superficie se vuelve más vulnerable a las acciones químicas y físicas fisiológicas del ser humano. Todo esto genera que la unión dentina y esmalte se haga más débil debido a la suavidad de la dentina y el adelgazamiento del esmalte.^{1, 5}

A corto plazo, las cargas oclusales verticales no causan efectos patológicos porque los estímulos propioceptivos actúan para limitar el contacto efectivo, sin embargo, los contactos pueden ser traumáticos a medida que duren más y sean más frecuentes.⁴ Durante la parafunción los pacientes son capaces de aplicar fuerzas excéntricas de hasta aproximadamente 1000N y excepcionalmente estas podrían llegar a 4344 N. Por lo general, los ciclos de aplicación del bruxismo van de entre 30 minutos a 24 horas del día.⁴

Mediante estudios realizados, se identifica la acumulación de fuerzas en la periferia de la cámara pulpar, específicamente en la zona del techo, a lo que se le relaciona con la formación de dentina que conlleva a la reducción de tamaño de la cámara pulpar y a la calcificación total de esta si es que el trauma sufrido es crónico¹.

III.3 Morfología de la lesión

Las abfracciones hoy en día pueden ser clasificadas por su morfología en superficial, forma de cuña, cóncava, entalladas e irregulares y a partir de esta clasificación se podría obtener información sobre su verdadera etiología.²

- Superficiales: lesiones de baja profundidad, es decir menor o igual a 0.5mm, con una altura mayor a 1 mm y mínima exposición dentinaria.²
- Forma de cuña: lesiones en formas de cuña, en la sección transversal presentan un ángulo interno definido con pisos internos planos.²
- Cóncavas: lesiones con profundidad mayor a 0.5mm de forma cóncava, que no muestran ángulo interno. Es una lesión continuamente curvada.²
- Entalladas: lesiones con poca altura corono-apical entre 0.5mm y 1 mm pero con una longitud mesio-distal larga entre 4mm y 6mm. Pueden presentar forma de cuña o cóncavas.²

- Irregulares: lesiones que no pueden ser clasificadas en las otras categorías, ya que la sección transversal que presenta es irregular.²

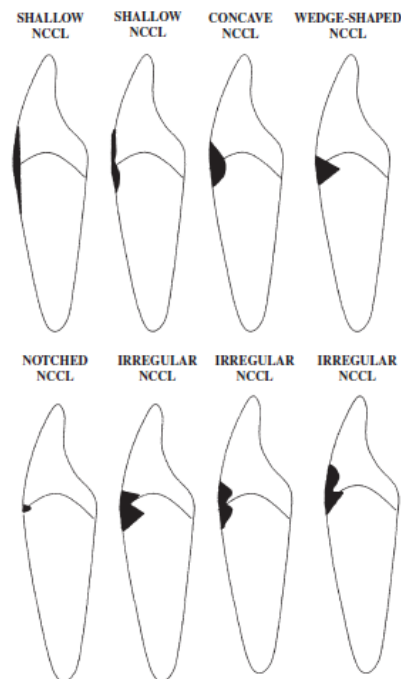


Fig 2. Line diagrams of the morphological NCCL categories. The black area represents the morphology of the lesion.

Figura 1. Clasificación de morfologías de lesiones no cariosa según Michael *et al.*

Se modificó la clasificación según Michael *et al.* Al tomando en cuenta solo las lesiones cóncavas y en forma de cuña, pues esta suelen ser las más prevalentes en cuanto a las lesiones causadas por fuerzas biomecánicas excesivas en la cavidad oral. Además, se agregó la categoría sin lesión para poder tener un grupo control dentro del estudio a realizar.

III.4 Calcificación de la cámara pulpar

La calcificación pulpar o también llamada metamorfosis cálcica es una alteración que se caracteriza por la aposición de tejido calcificado dentro del espacio para la cámara y/o conducto radicular, pudiendo llegar en su caso más grave a la obliteración total de dichos espacios.⁶ Esto se presenta con mayor frecuencia en piezas dentales con

caries profundas o que hayan sufrido algún trauma, sin embargo también podrían deber su etiología a problemas crónicos como lo son el bruxismo, la abrasión, los movimientos ortodónticos, preparación de cavidades o tallados dentales, entre otros.⁶

⁷ En la totalidad de los casos, este defecto es diagnosticado radiográficamente. ⁶Es producida mecánicamente por el depósito de sales cálcicas que se acumulan en el tercio apical del conducto radicular, se tiene que tener en cuenta la diferencia entre la calcificación fisiológica, en la cual disminuye progresivamente en la volumen pulpar con relación a la edad dentaria y la calcificación patogénica, la cual se presenta como respuesta ante un proceso injurioso de la pulpa dental, también se podía dar un degeneración pulpar difusa cuando se encuentran múltiples focos de calcificación o pulpolitos dentro de la cámara pulpar.⁷

La calcificación pulpar puede tener inicio por la aposición de dentina reparativa o terciaria, esta comienza en el área más externa de la cámara pulpar por acción de los odontoblastos.⁶

III.5 Relación entre la distribución de “*stress*” y la calcificación pulpar

La distribución de fuerzas en cuanto a sus componentes compresivos y tensionales depende de la conformación estructural de la pieza dentaria. La estructura dentaria está conformada por esmalte, dentina, pulpa en orden de más externo a interno, la dentina ocupa el mayor espacio en dicha conformación por lo que su estructura y propiedades determinan los posibles tratamientos y resistencia a fuerzas a las que la pieza es sometida.

Conocer las propiedades mecánicas de la dentina es básico para poder comprender como las fuerzas de masticación son distribuidas y absorbidas por el diente, como también las posibles alteraciones que esta puede sufrir.⁸ Químicamente la dentina está compuesta por cristales de hidroxiapatita que no contienen mucha cantidad de calcio pero si carbonatos, siendo este el contenido mineral que representa el 50% de su estructura, el 30% está conformado de una matriz orgánica de colágeno tipo I y un 20% está conformado de fluidos similares al plasma.⁸ Su microestructura es conformada principalmente de túbulos dentinarios, los túbulos están ubicados desde la cámara pulpar hasta la unión amelodentinaria.⁸

Por consiguiente, las paredes de la pulpa están conformadas por dentina y esta aumenta su espesor y genera que la cámara pulpar disminuya su tamaño, debido a varios estímulos.⁹ La dentina está dividida en tres tipos, la primaria la cual está encargada de formar los túbulos dentinarios en el diente en formación y erupción.⁹ La secundaria, se forma alrededor de la pulpa después de completada la formación de la raíz.⁹ Y la terciaria aparece solo cuando la dentina sufre algún trauma o irritación, siendo esta la patológica y la que se relaciona directamente con la disminución del diámetro pulpar en la presencia de lesiones no cariosas de abfracción, generando un efecto en la distribución de fuerzas.⁹

Las estructuras dentales pueden ser consideradas isotrópicas o anisotrópicas, llamándose isotrópicas las que poseen las mismas propiedades físicas en todas las direcciones y anisotrópicas cuando puede presentar diferentes características según la dirección. Es importante definir ello pues esto también genera diferencias en la distribución de las fuerzas.

III.6 Relación entre la distribución de “stress” y la morfología de la lesión

Se ha estudiado la relación entre distribución de fuerzas según la morfología de la lesión, pero los resultados han sido variados, se ha encontrado que esta condición no llega a afectar en la distribución de las fuerzas pero en otras es mencionada como una de las mayores causas de alteración en la distribución.¹¹ Además, se menciona que las cargas verticales son las que causan mayor concentración de “stress” comparada con fuerzas tensionales o comprensivas mencionando también que cuando la carga va en dirección vertical representa mayor concentración de “stress” en la pared superior de la lesión y cuando esta está dirigida a la cúspide palatina se ve afectada más la región cervical en premolares superiores.¹¹

III.7 Relación entre la distribución de “stress”, la calcificación de pulpar y la morfología de la lesión

Como se ha mencionado la distribución de fuerzas en lesiones cervicales puede variar según su morfología, como también si esta lesión ha sido restaurada y con qué material. Pero a esto, se le puede sumar si es que la conformación pulpar se ve afectada, es decir si la pulpa se ha calcificado tiene algún efecto en cuanto a la distribución de fuerzas en la misma pieza.

Por lo que estudiar la resistencia y dureza de las estructura dentaria es importante para conocer su comportamiento ante las distintas fuerzas que recibe tanto fisiológica como patológicamente. Se sabe según diversos estudios, que las lesiones cervicales reciben las fuerzas en distintos puntos de la lesión, por lo que esta puede variar según la inclinación y dirección de la fuerza, relacionándose así con la morfología presentada.¹⁰

III.8 Otras variables que puedan afectar el estudio

Posibles variables que no son tomadas en cuenta en este estudio podrían afectarlo, se ha reportado que en su mayoría la distribución de fuerzas se ve afectada de mayor forma cuando la lesión ha sido restaurada pues la resistencia del material colocado juega un papel importante.¹¹

Pero pocas veces, se ha considerado la calcificación pulpar que presenta esa pieza como un variable que podría presentar diferencias en la distribución de fuerzas resultante. Por otro lado, la cantidad y magnitud de las fuerzas a las que es sometido el diente puede ser variada, por lo que otros estudios toman en cuenta dichas fuerzas en la afectación de la distribución de fuerzas.⁵

Por lo que es importante trabajar con las diferentes morfologías de la abfracciones y como estas también se relacionan con la calcificación para poder brindar evidencia de si estas variables afectan o no la distribución de fuerzas y si lo hacen de manera relevante.

III.9 Propósito del estudio

Por lo expuesto anteriormente este estudio tiene como fin evaluar mediante MEF la distribución de “*stress*” a nivel cervical en lesiones no cariosas según su morfología y posible calcificación pulpar.

IV. OBJETIVOS

IV.1 Objetivo General

Analizar mediante elementos finitos la distribución de “*stress*” a nivel cervical según el tipo de lesión no cariosa y la calcificación pulpar en una primera premolares inferiores.

IV.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar la distribución de “*stress*” en una primera premolar inferior sin presencia de lesión no cariosa según nivel de calcificación pulpar.
2. Evaluar la distribución de “*stress*” en una primera premolar inferior con presencia de lesión no cariosa tipo cóncava según nivel de calcificación pulpar.
3. Evaluar la distribución de “*stress*” en una primera premolar inferior con presencia de lesión no cariosa tipo cuña según nivel de calcificación pulpar.
4. Determinar la localización de los mayores puntos de “*stress*” en las diferentes simulaciones prouestas.

V. HIPÓTESIS

La morfología de la lesión cervical no cariosa y la calcificación pulpar afectan la distribución de “*stress*” en el primer premolar inferior.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

VI.1 Diseño del estudio

El estudio es de tipo *in silico*, transversal y descriptivo.

VI.2 Muestra

VI.2.1 Unidad de muestreo

La unidad de muestreo fue una pieza premolar inferior seleccionada bajo criterios anatómicos cualitativos (Anexo 1) y cuantitativos (Anexo 2), siguiendo las medias de un grupo humano similar al peruano, donada por un Cirujano Dentista (Anexo 3).

VI.2.2 Tamaño muestral

Debido a que se trabaja con una simulación en modelo matemático y que la aplicación de éste fue siempre la misma invariablemente, no se requiere determinar un tamaño muestral.

VI.2.3 Unidad de análisis

La unidad de análisis para el presente estudio *in silico* es llamada simulación (S). Una simulación es la representación computarizada de una y cada una de las asociaciones que permiten los objetivos de nuestra investigación, que fue evaluada en un programa de modelamiento para el análisis de la distribución de fuerzas según las variables independientes a utilizar.

Los grupos experimentales que fueron (S):

- S1: Pieza sin lesión cervical no cariosa y sin calcificación pulpar.
- S2: Pieza sin lesión cervical no cariosa y con 50% de calcificación pulpar.

- S3 Pieza sin lesión cervical no cariosa y con 75% de calcificación pulpar.
- S4: Pieza con lesión cervical no cariosa tipo cóncava y sin calcificación pulpar.
- S5: Pieza con lesión cervical no cariosa tipo cóncava y con 50% de calcificación pulpar.
- S6: Pieza con lesión cervical no cariosa tipo cóncava y con 75% de calcificación pulpar.
- S7: Pieza con lesión cervical no cariosa tipo cuña y sin calcificación pulpar.
- S8: Pieza con lesión cervical no cariosa tipo cuña y con 50% de calcificación pulpar.
- S9: Pieza con lesión cervical no cariosa tipo cuña y con 75% de calcificación pulpar.

Las simulaciones de cada tipo de lesión y calcificación pulpar, se presentan en la Figura 1.

VI.3 Criterios de selección

Con la finalidad de reproducir las características arquitectónicas y geométricas de un primer premolar inferior, su selección se basó en los criterios dados en la unidad de muestreo (Anexo 1 y 2).

V.4 Operacionalización de variables

Variable dependiente

Distribución de “stress”: Variable cuantitativa discreta que registra la Distribución de “stress” a nivel cervical en la pieza modelada en el programa de Elemento Finito. Se utilizó la escala de von Mises (se registró en MPa).

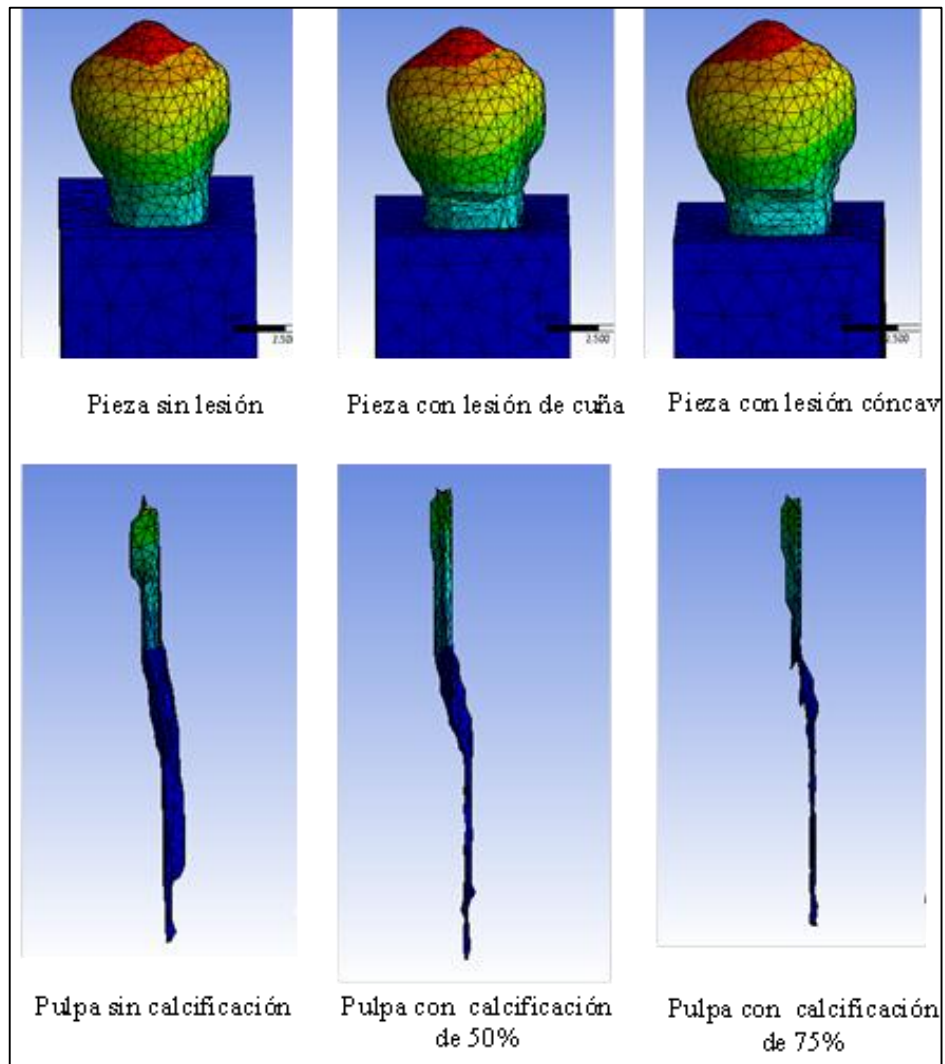


Figura 2. Simulaciones para cada tipo de lesión y calcificación pulpar.

Variables independientes

Morfología de la lesión: Forma de la lesión cervical no cariosa, operacionalmente se define como morfología de la lesión de abfracción en la zona cervical por fuerzas biomecánicas. Es una variable cualitativa, nominal. Se clasificó según Michael *et. al* 2010 modificada (sin lesión, cóncava, cuña).

Calcificación pulpar: Respuesta reactiva pulpar, que se da en forma de depósitos cálcicos ubicados generalmente en las paredes del conducto y cámara pulpar. Es una variable cualitativa ordinal. Se clasificó en sin calcificación pulpar, 50% de calcificación pulpar y 75% de calcificación pulpar.

El cuadro de operacionalización de variables puede verse en el Anexo 4.

V.5 Procedimientos y técnicas

La pieza fue evaluada y estabilizada con un bloque cilíndrico de silicona de mediana densidad que sirvió de soporte para que la pieza sea ubicada con su eje axial perpendicular a cualquier superficie plana del tomógrafo Cone Beam (Tomógrafo Panorámico CS9300) para realizar los cortes tomográficos axiales y verificar su anatomía pulpar, los cuales se almacenaron en formato DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine). Los datos se trasladaron al software de segmentación de imágenes médicas Simpleware ScanIP (Sysnopsys, Inc) para realizar la reconstrucción por capas; es decir, pulpa, dentina, esmalte, ligamento periodontal y hueso alveolar; la silicona fue reconstruida como hueso alveolar. En el mismo programa fueron trabados la definición, el refinamiento del modelado, el mallado y la aplicación de propiedades físicas a cada capa.

Se crearon las simulaciones para LCNC con una dimensión de 0.75mm de alto, 0.75mm de profundidad y un ancho mesio-distal de 3.5mm con sus respectivas morfologías a partir de operaciones Booleanas en el software CAD, estos fueron exportados al software Ansys (Ansys Workbench 17, PA, EUA), donde comprobó que cada capa posea las siguientes propiedades físicas. (Tabla 1)

Se definieron los tipos de conexión y se creó un mallado de cada simulación, utilizando como base un sólido de tipo tetraédrico cuadrático constituido por triángulos y tetraedros respectivamente (Tabla 2).

Se fijó la carga oclusal para un magnitud de 500 N y un dirección de +45°. La dirección de la carga se aplicó sobre la vertiente externa a 2 mm de la punta de la cúspide vestibular.

Para las simulaciones con 50% y 75% de calcificación pulpar, se realizó un reducción de 0.03 y 0.06 mm respectivamente a nivel del lumen del conducto y en la cámara pulpar en el contorno mesio-distal.

Luego de haber obtenido las simulaciones, se desarrollaron tres cortes transversales en la pieza de donde se obtuvo los datos cuantitativos en la zona vestibular según su correspondencia con la Escala de Von Misses. Los tres cortes fueron (Figura 2):

- Corte 1: A +0.25mm de UCA.
- Corte 2: A -0.25mm de UCA.
- Corte 3: A -0.5mm de UCA.

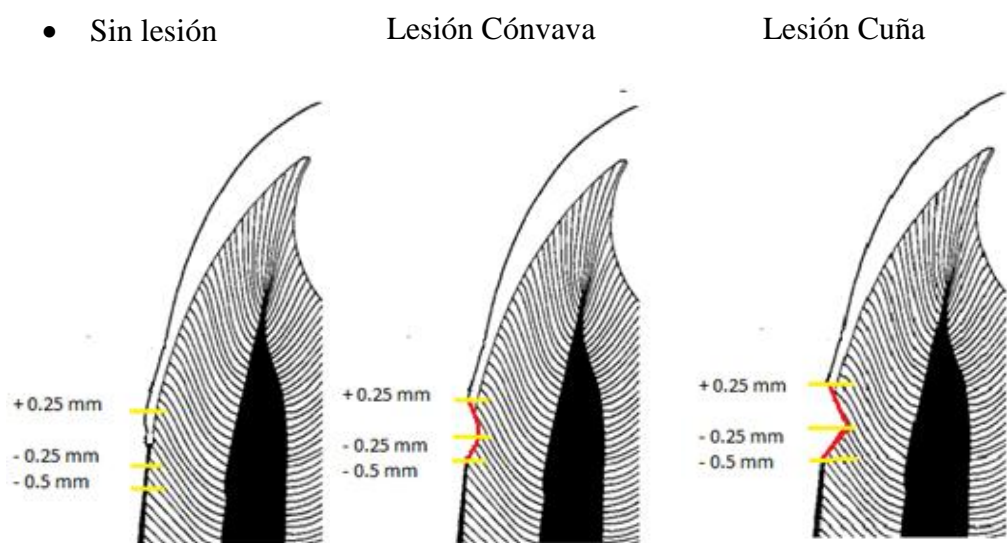


Figura 3. Simulaciones de una premolar inferior según tipo de lesión y calcificación pulpar.

Tabla 1. Módulos de elasticidad y coeficientes de Poisson según material¹¹

Material	Tipo de propiedades	Módulo de elasticidad	Coefficiente de Poisson
Esmalte	Isotrópico	73.72 GPa	0.23
Dentina	Isotrópico	17.07 GPa	0.3
Hueso	Isotrópico	13.70 GPa	0.3
Pulpa	Isotrópico	0.00207 GPa	0.45
Ligamento Periodontal	Isotrópico	0.0689 GPa	0.45

Tabla 2. Conformación del mallado, por triángulos y tetraedros.

Capas o procesos	Triángulos	Tetraedros
Esmalte	322.996	2.715
Dentina	456.424	6.547
Pulpa	100.404	1.263
Ligamento Periodontal	412.228	4.108
Hueso	1.282.896	8.886
Total	2.575.356	23.519

Los materiales utilizados fueron considerados como Isotrópicos (presentan las mismas propiedades en cualquier dirección), elásticos (recuperan las dimensiones originales cuando se retira la carga) y continuos (No presentan espacios vacíos).

V.6 Plan de análisis

1. La identificación del valor cuantitativo para la distribución de “stress” en las zonas seleccionadas fue compatibilizando el registro cualitativo en colores de los resultados con la escala de Von Mises para Análisis de la Distribución de “stress”.
2. Los valores de la variable dependiente fueron relacionados con las independientes en tablas de contingencia y gráficos según los objetivos específicos y general para el presente estudio.

V.7 Consideraciones éticas

El presente trabajo de investigación fue enviado al Comité de Ética de la Universidad Peruana Cayetano Heredia para su evaluación y registró. La pieza utilizada fue donada por el CD Daniel Paredes Ruiz. Se solicitaron los permisos institucionales para el uso de servicios o laboratorios donde se desarrollará el estudio (Anexo 4).

VII. RESULTADOS

La distribución de esfuerzo en las simulaciones del premolar inferior sin lesión, con lesión cóncava y con lesión en cuña, por capas se pueden observar en las Figuras 4, 5, 6 respectivamente.

En una pieza sin lesión el máximo “stress” según calcificación pulpar se encontró con calcificación 75% (170.56 MPa), seguido de la pieza sin calcificación (159 MPa), el menor “stress” se presentó en presencia de 50% de calcificación (112.52 MPa); igual distribución se presentó en dentina. La localización de este máximo “stress” para las piezas sin calcificación y calcificación 75% fue principalmente en hueso y en el caso de calcificación de 50% en esmalte (Figura 4, Cuadro 1).

En una pieza con lesión tipo cóncava, se observa que el máximo “stress” se presenta en la pieza sin calcificación (334.24 MPa), seguido de la pieza con calcificación 75% (187.53 MPa) y calcificación 50% (99.06 MPa). Los mayores valores de “stress” se encontraron a nivel de esmalte para las piezas con calcificación y a nivel de dentina en la pieza sin calcificación (Figura 4, Cuadro 2).

En una pieza con lesión tipo cuña se encontró que el máximo “stress” se presentó en una pieza sin calcificación (246.44 MPa), seguido de calcificación 75% (126.03 MPa) y calcificación 50% (111.37 MPa). Se aprecia un patrón regular para la lesión tipo cuña, sea a nivel general, esmalte, dentina y hueso. A nivel pulpar en presencia de 75% de calcificación el “stress” es mucho mayor en cuanto el máximo y mínimo “stress”. (Figura 5, Cuadro 3).

En el análisis por planos de una pieza sin lesión se observa que a medida que la calcificación pulpar aumenta, aumenta también la concentración de “stress” en planos más inferiores, excepto UCA +0.25 donde disminuye. En presencia de lesión cóncava, cuando no existe calcificación la concentración de “stress” es mayor a planos más inferiores, sin embargo, esta concentración de “stress” es menor cuando hay presencia de calcificación 50% en el plano UCA -0.25. Para la lesión tipo cuña la mayor “concentración de “stress” se da planos más inferiores, excepto en 75% de calcificación, donde es mayor en UCA +0.25 y menor en UCA -0.5. (Grafico 1)

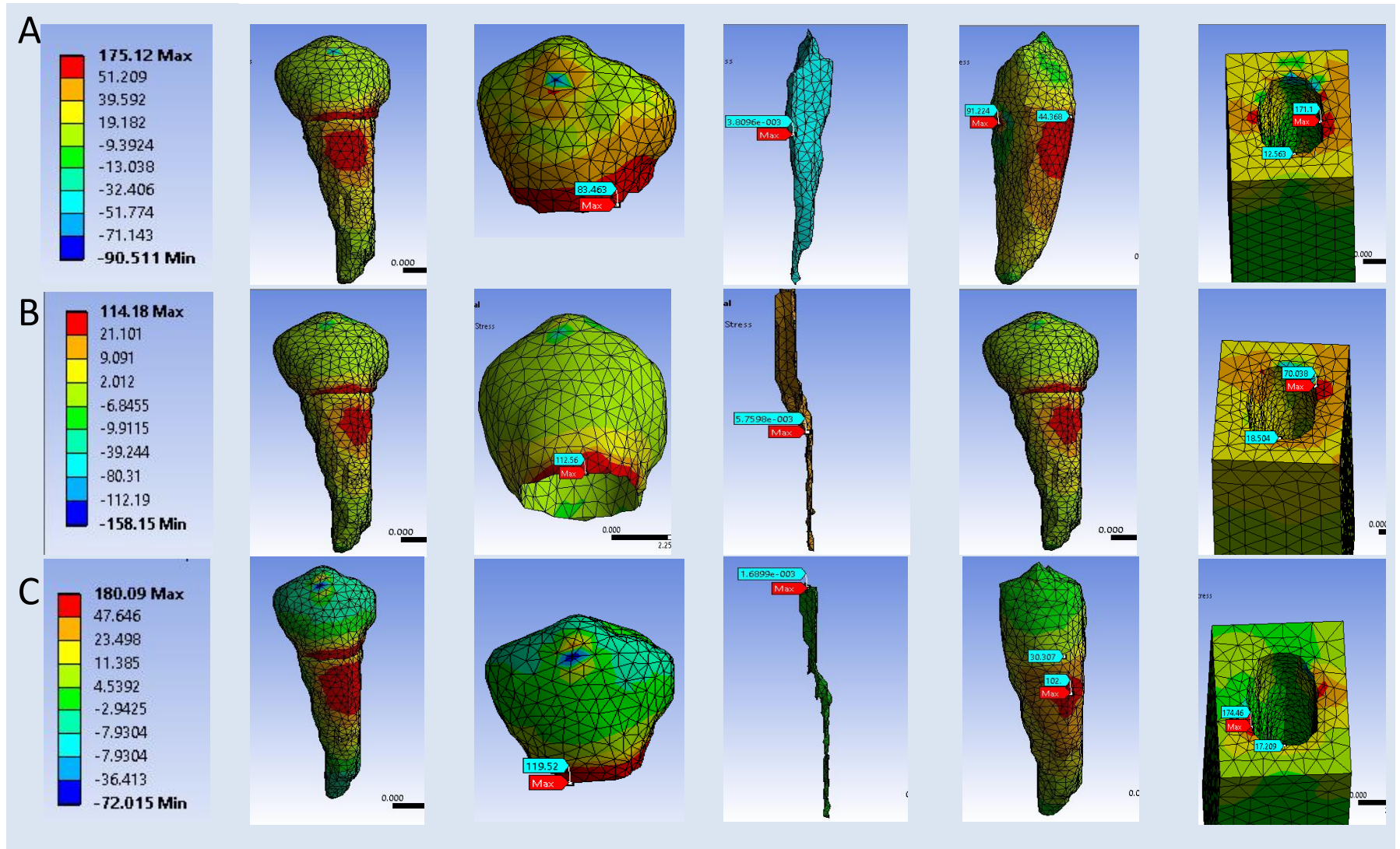


Figura 4. Simulaciones por capas de una pieza sin lesión A) Sin calcificación pulpar, B) Calcificación pulpar 50%, C) Calcificación pulpar 75%.

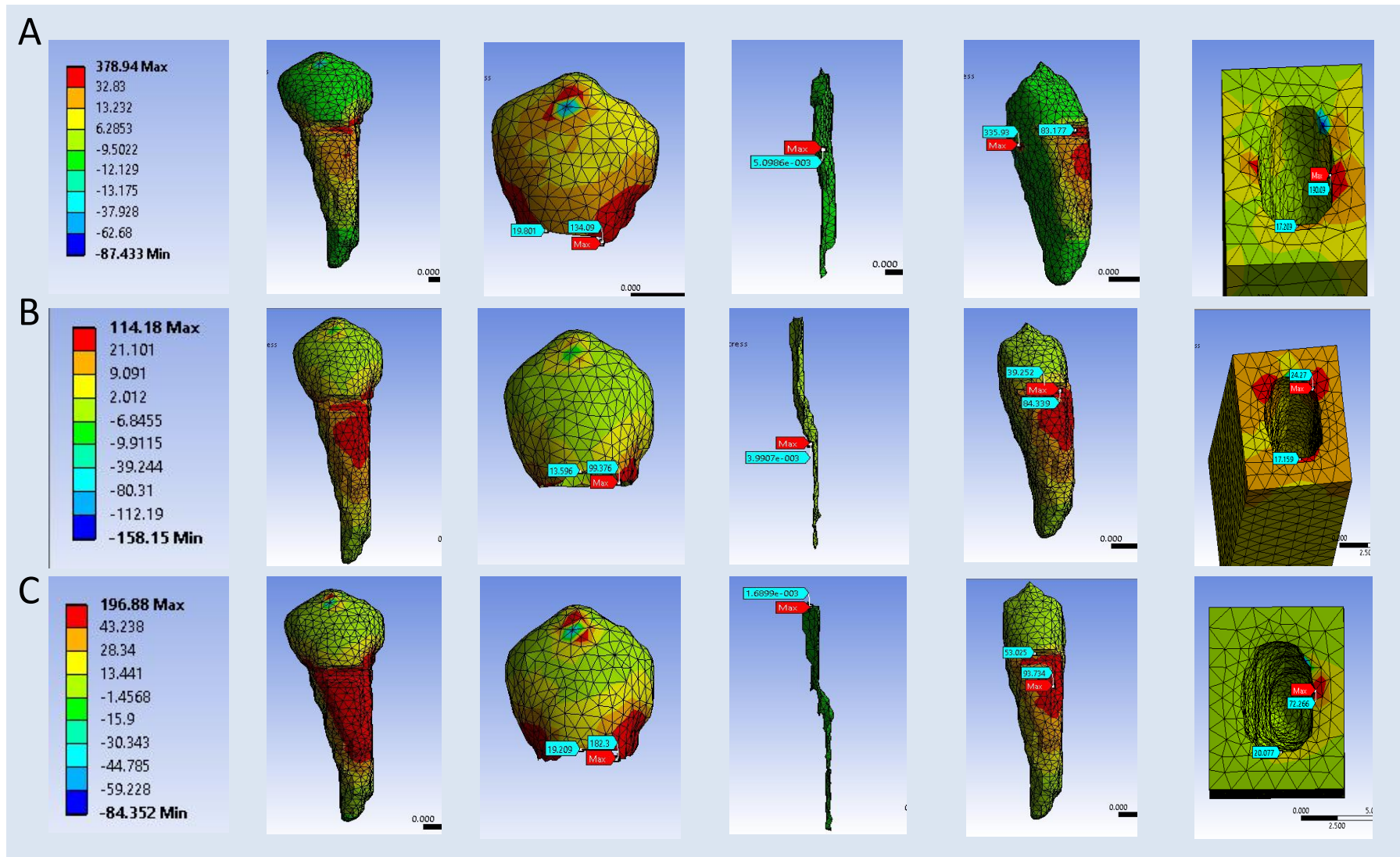


Figura 5. Simulaciones por capas de una pieza con lesión cóncava A) Sin calcificación pulpar, B) Calcificación pulpar 50%, C) Calcificación pulpar 75%.

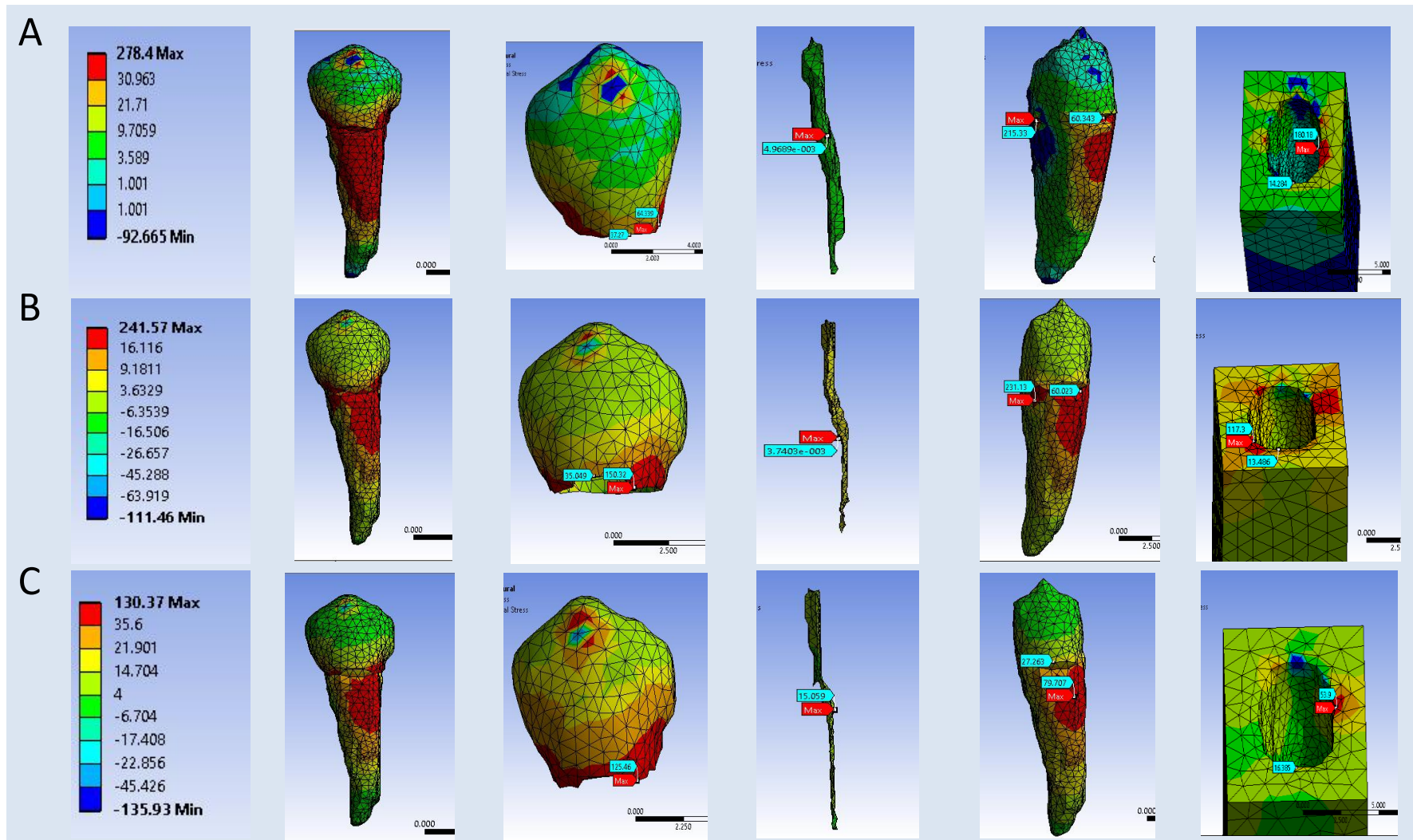


Figura 6. Simulaciones por capas de una pieza con lesión cuña A) Sin calcificación pulpar, B) Calcificación pulpar 50%, C) Calcificación pulpar 75%.

Cuadro 1. Distribución de estrés en una premolar inferior sin lesión por capas

	SIMULACIÓN	GENERAL	ESMALTE	PULPA		DENTINA	HUESO
Máximo “stress” (Pa)	SC	159.00	83.01	3.66e-003		91.22	171.15
	C50	112.52	113.52	5.43e-003		86.58	71.69
	C75	170.56	116.51	1.69e-003		102.0	152.20
Localización máximo “stress”	SC	Hueso	Tercio Cervical (D)	1/3 C Rad.		Tercio Medio Radicular (D)	Cresta Ósea (M)
	C50	Esmalte	Tercio Cervical (V)			Tercio Medio Radicular (V)	
	C75	Hueso		1/3 cameral			
Distribución Horizontal(Ho) o Vertical(Ve)	SC	Vertical: Tercio cervical y medio radicular(V) →Coronal y apical Horizontal: Tercio medio radicular (V) → Prox.	Vertical: Cervical (DVM)→ Oclusal	Homogéneo		Vertical: Tercio cervical radicular(V) →Coronal y apical Horizontal: Tercio cervical radicular (V) → Prox.	Vertical: Tercio cervical →Apical Horizontal: Tercio cervical → Prox.
	C50						
	C75						
Localización del mínimo “stress”	SC	Tercio coronal (V)	Tercio coronal (V) y Tercio oclusal	-7.81e-003	1/3 C Rad.	Tercio cervical radicular (LV)	Cresta ósea (L)
	C50			-9.93e-003			
	C75			-8.35e-003	1/3 cameral		

SC: Sin calcificación, C50: 50% Calcificación pulpar, C75: 75% Calcificación pulpar

Cuadro 2. Distribución de estrés en una premolar inferior con lesión cóncava por capas

	SIMULACIÓN	GENERAL	ESMALTE	PULPA		DENTINA	HUESO
Máximo “stress” (Pa)	SC	334.24	83.67	4.51e-003		335.93	162.62
	C50	99.06	73.59	4.87e-003		84.34	24.67
	C75	187.53	176.51	2.62e-003		93.74	72.06
Localización máximo “stress”	SC	Dentina	Tercio Cervical (M)	1/3 C Rad.		Tercio Medio(D)	Cresta Ósea (M)
	C50	Esmalte				Tercio Medio(M)	
	C75	Esmalte					
Distribución	SC	Vertical: Tercio medio radicular(V) →Coronal y apical Horizontal: Tercio medio radicular (V) → Prox.	Vertical: Cervical (DM)→ Oclusal	Homogéneo		Vertical: Tercio cervical radicular(V) →Coronal y apical Horizontal: Tercio cervical radicular (V) → Prox.	Vertical: Tercio cervical →Apical Horizontal: Tercio cervical → Prox.
	C50						
	C75						
Localización del mínimo “stress”	SC	Tercio coronal (V)	Tercio oclusal	-2.25e-003	1/3 cameral	Tercio cervical radicular (DLM)	Cresta ósea (L)
	C50			-9.17e-003	1/3 C Rad.		
	C75			-9.24e-003	1/3 cameral		

SC: Sin calcificación, C50: 50% Calcificación pulpar, C75: 75% Calcificación pulpar

Cuadro 3. Distribución de estrés en una premolar inferior con lesión en cuña por capas

	SIMULACIÓN	GENERAL	ESMALTE	PULPA		DENTINA	HUESO
Máximo “stress” (Pa)	SC	246.44	64.61	4.44e-003		215.33	158.75
	C50	111.37	124.49	4.62e-003		231.13	118.7
	C75	126.03	125.13	15.02		79.70	55.06
Localización máximo “stress”	SC	Dentina	Tercio Cervical (M)	1/3 C Rad.		Tercio Medio (D)	Cresta Ósea (M)
	C50	Hueso				Cresta Ósea (D)	
	C75	Esmalte				Tercio Medio(M)	Cresta Ósea (M)
Distribución Horizontal(Ho) o Vertical(Ve)	SC	Vertical: Tercio medio radicular(V) →Coronal y apical Horizontal: Tercio medio radicular (V) → Prox.	Vertical: Cervical (DVM)→ Oclusal	Homogéneo		Vertical: Tercio cervical radicular(V) →Coronal y apical Horizontal: Tercio cervical radicular (V) → Prox.	Vertical: Tercio cervical →Apical Horizontal: Tercio cervical → Prox.
	C50						
	C75						
Localización del mínimo “stress”	SC	Tercio coronal (V)	Tercio oclusal	-7.24e-003	1/3 cameral	Tercio cervical radicular (DLM)	Cresta ósea (L)
	C50			-7.51e-003			
	C75			0.47e-003			

SC: Sin calcificación, C50: 50% Calcificación pulpar, C75: 75% Calcificación pulpar

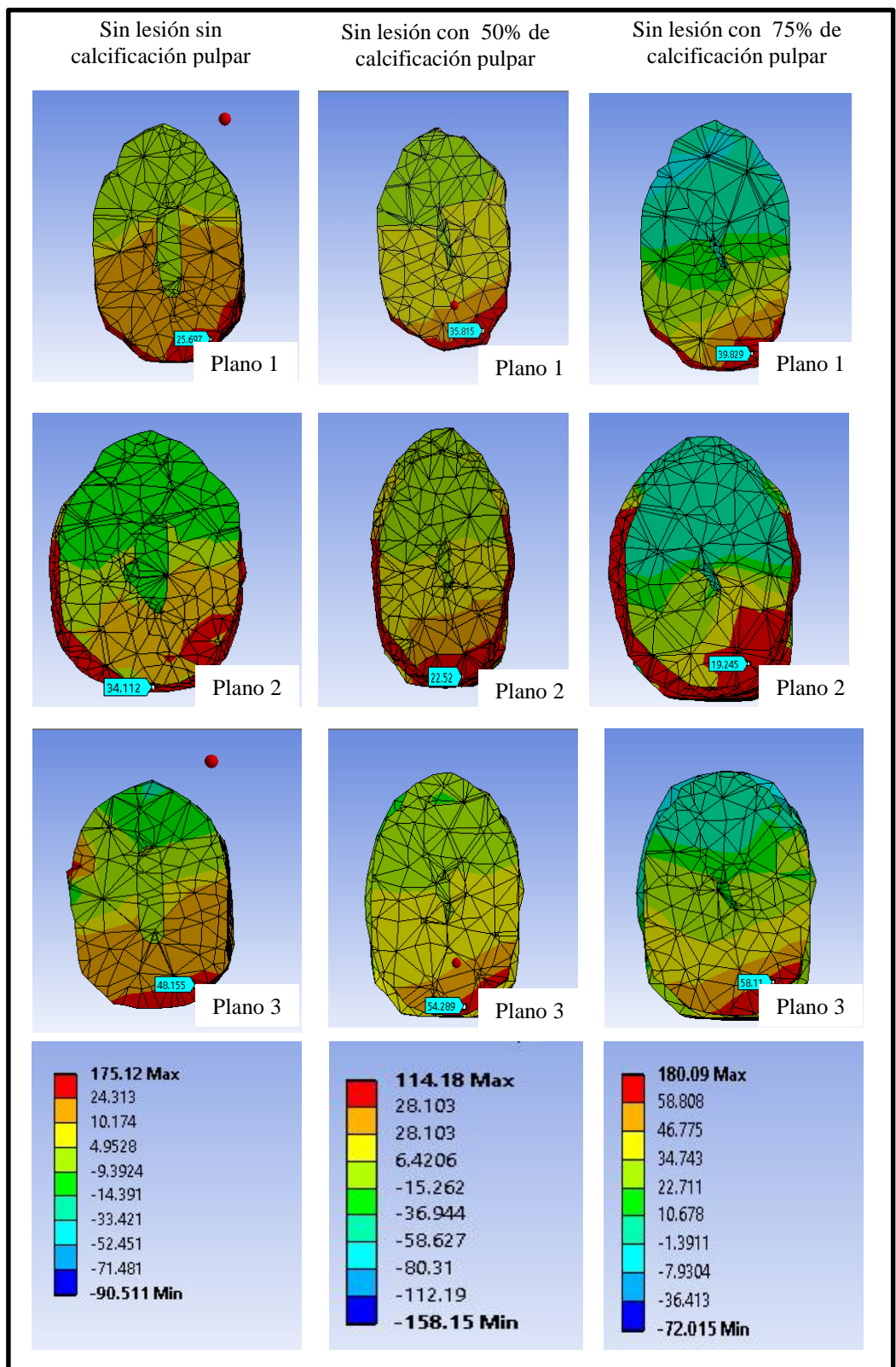


Figura 7. Cortes por planos, para pieza sin lesión cervical no cariosa

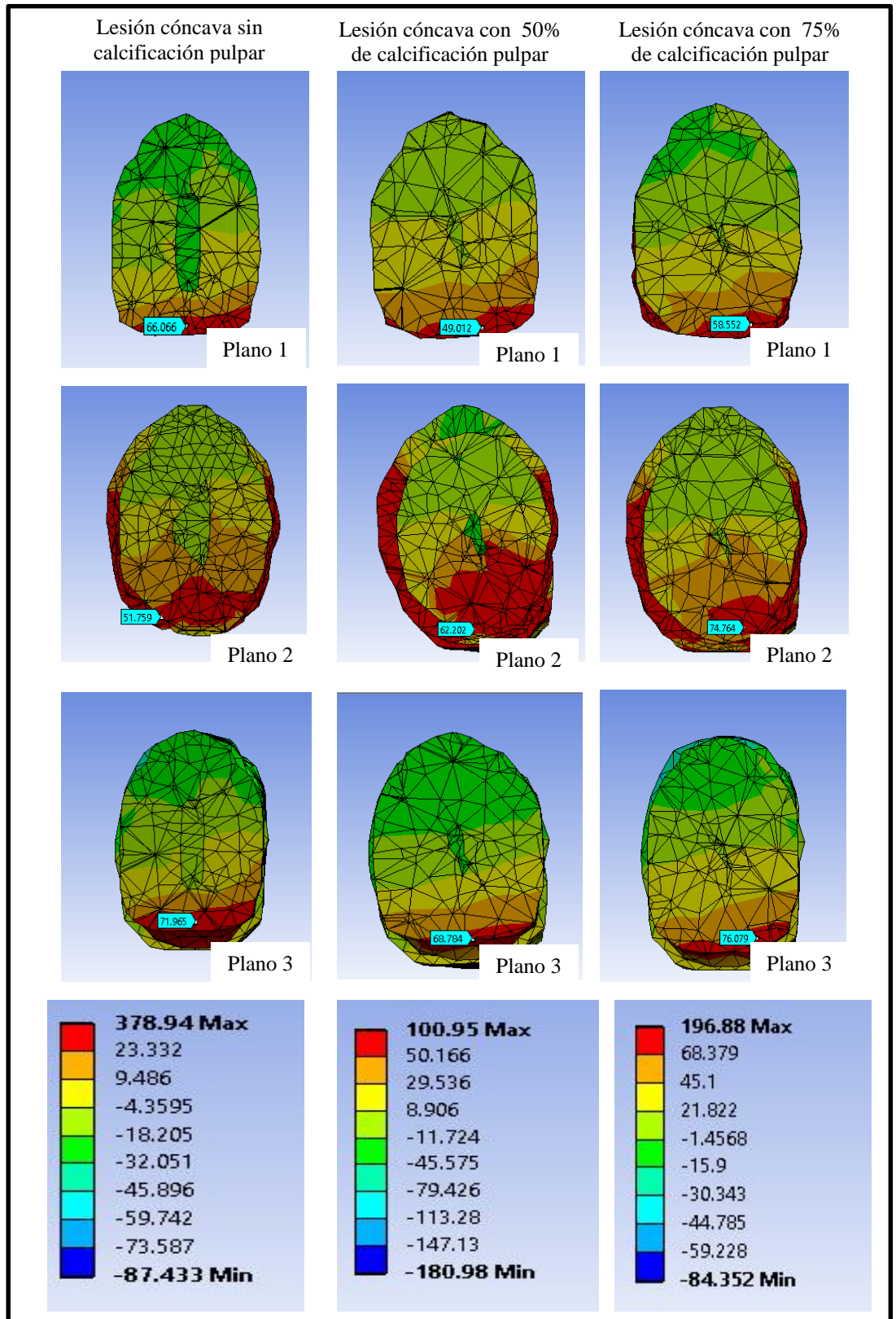


Figura 8. Cortes por planos, para pieza sin lesión tipo cóncava

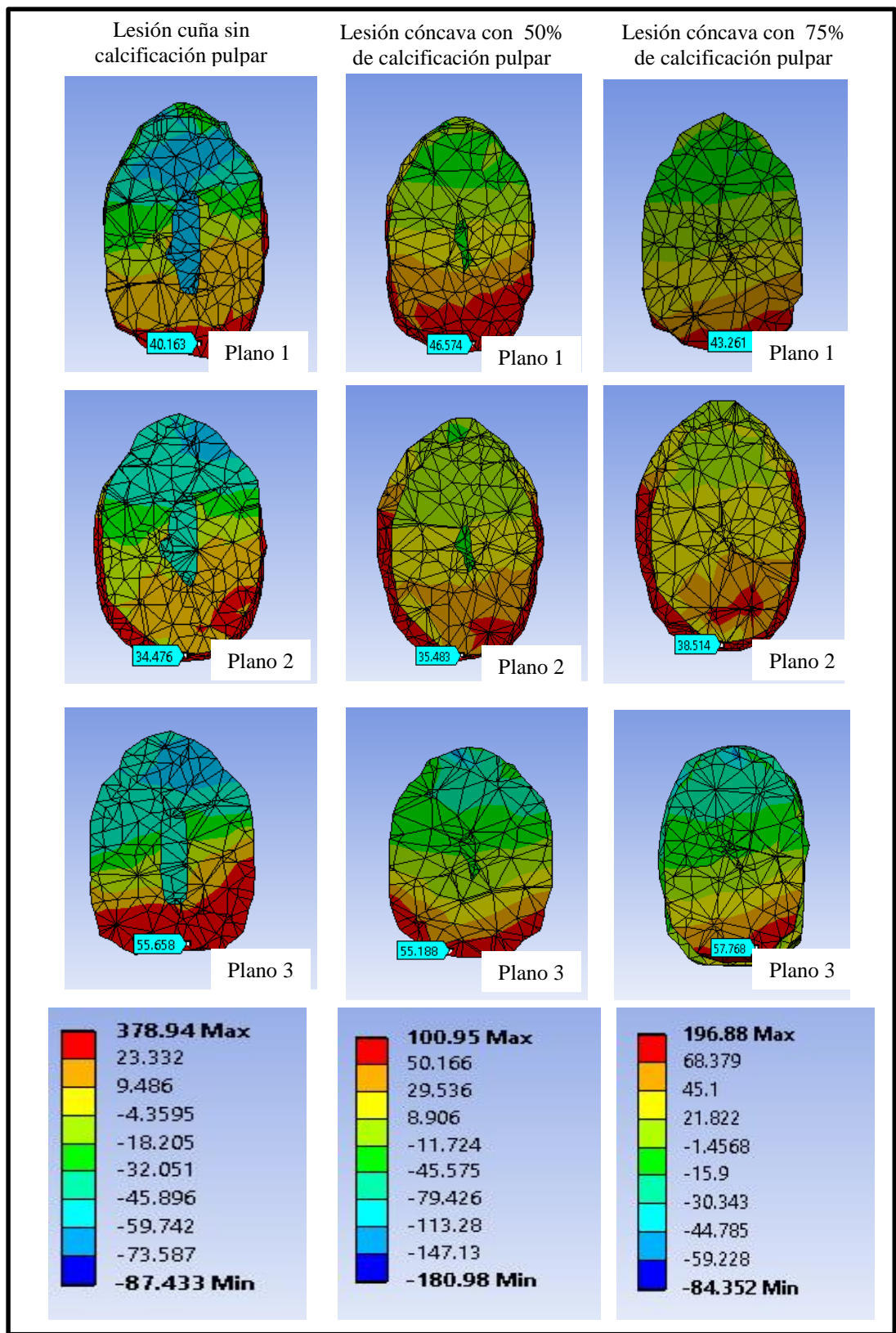


Figura 9. Cortes por planos, para pieza sin lesión tipo cuña

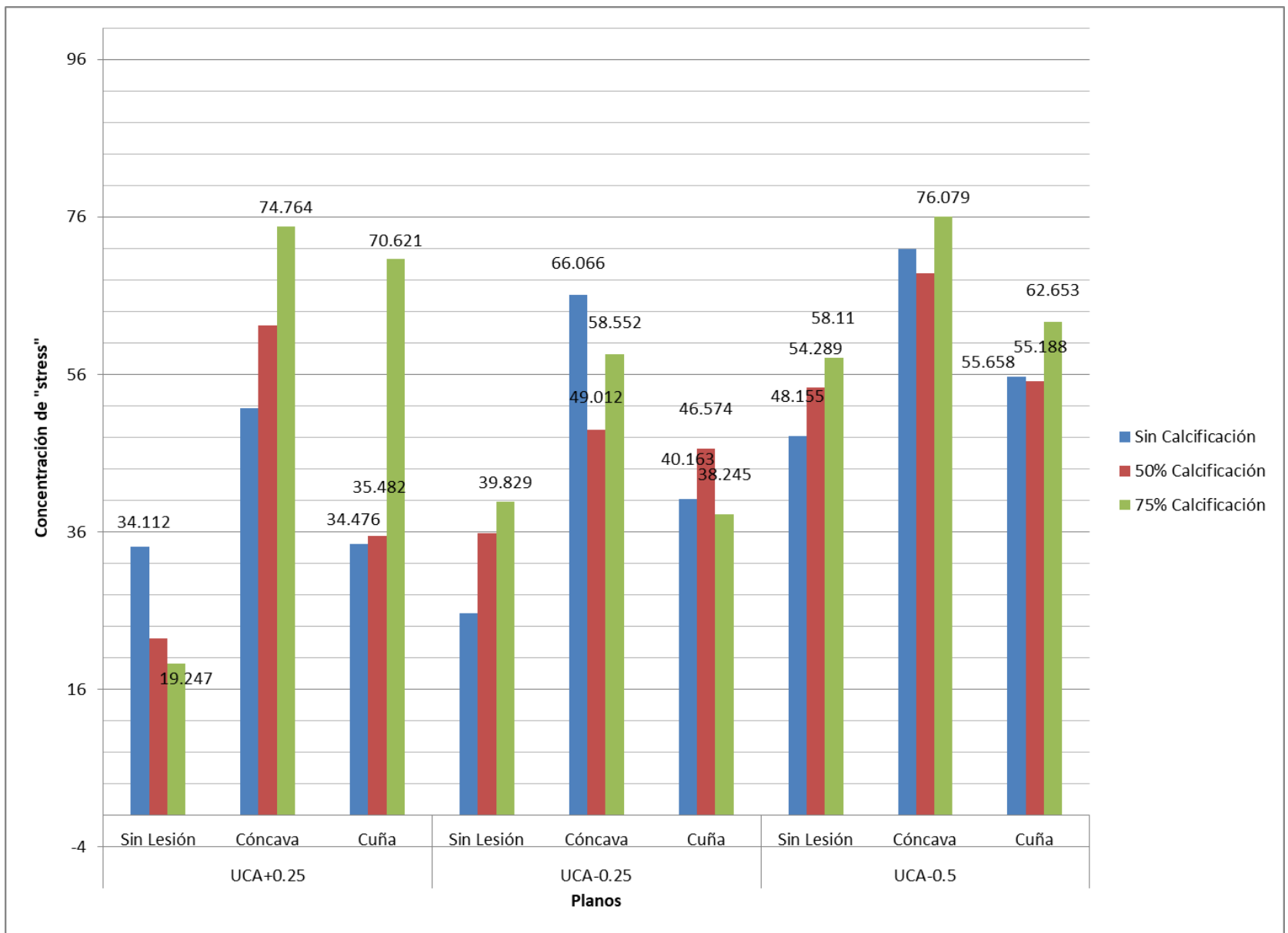


Grafico 1. Distribución de “stress” en una premolar inferior por cortes según tipo de lesión no cariosa y calcificación pulpar.

VIII. DISCUSIÓN

El objetivo del presente trabajo fue analizar mediante MEF la distribución de “stress” a nivel cervical según el tipo de lesión no cariosa y calcificación pulpar en una primera premolar inferior.

El análisis por MEF es una técnica muy utilizada hoy en día para simular situaciones clínicas relacionadas con la distribución del “stress” de una pieza dentataria. Las reconstrucciones en dicho método pueden simular formas, volúmenes y fuerzas añadiendo propiedades mecánicas a las estructuras. Entre sus ventajas se encuentra que no es un método invasivo y tiene resultados confiables del comportamiento biomecánico del diente. Para lesiones cervicales no cariosas este método nos permite simular sus diferentes morfologías, proporcionando valores predecibles de tensión en los diferentes puntos de la lesión, además permite que la estructura dentaria sea seccionada en diferentes planos, mostrando puntos de “stress” que no se muestran superficialmente.^{13, 17, 18}

Los valores de “stress” en una pieza sana son variables en función a la calcificación pulpar. En una pieza sin lesión y sin calcificación la distribución del “stress” puede explicarse por la carga oclusal excéntrica, que se presenta sobre todo en la acción de fuerzas oclusales no funcionales, la cual corresponde a los contactos en la vertiente externa de la cúspide vestibular en una dirección cizallante, como lo menciona Jakupović *et al.*¹⁴

En el presente estudio se encontró altos niveles de “stress” próximos a UCA tanto en las capas de esmalte como en las de dentina, lo cual coincide con los que propone Palamara *et al.*, donde el “stress” tiende a concentrarse cerca de UCA pero no se restringe a esmalte, sino que tiene una alta presencia en dentina, destacando su proximidad a UCA. La zona cervical del diente concentra mayores valores de “stress” debido a que es más susceptible por encontrarse la unión amelocementaria donde el esmalte es de un menor grosor y se une con la dentina que es una estructura de menos dureza.¹⁸

Además, el “stress” encontrado en nuestro estudio fue de tipo tensional igual al que propone el mismo autor, el cual destaca también que, en una pieza sana, con una dirección y ubicación similar a la nuestra, pero con la aplicación 100N, el "stress" en cervical vestibular es principalmente de tipo tensional.¹⁵

Cuando se evaluó cada estructura que compone a la pieza dentaria por separado (capa), se evidencia que bajo las condiciones de una pieza sin lesión y con calcificación pulpar la concentración de “stress” aumenta a nivel de dentina y disminuye a nivel de esmalte. Jakupovic *et al.*, quienes con una dirección de carga similar a la nuestra, pero con una fuerza de 200N, observaron que el "stress" es 5 veces mayor en la capa de esmalte sub superficial en comparación con la del esmalte superficial en un primera premolar inferior.¹⁴ Asimismo, en esta investigación se observa, que a medida que la calcificación pulpar aumenta, disminuye la concentración de estrés en esmalte y aumenta en planos más inferiores, es decir en dentina con dirección hacia apical, en la pieza sana y en la pieza con lesión cóncava.

La forma geométrica de la lesión cervical no cariosa es muy importante en la distribución del estrés interno en los tejidos dentales. Este tipo de lesiones cervicales en específico se describen en la literatura como resultado de las fuerzas biomecánicas que causan concentración de estrés a nivel cervical.¹³ Se encontró que la lesión cóncava presento mayores valores de “stress” en general que la lesión en forma de cuña. Lo que difiere del estudio de Daley *et al.*, donde los valores fueron mayores para la lesión cuña en comparación con la cóncava.¹⁶

Sin embargo Zeola *et al*¹⁷ y Soares *et al*¹⁸ han encontrado que la presencia de lesiones cervicales no cariosas en forma de cuña y cóncava promueve similar concentración de estrés alrededor de la región cervical de la pieza dental. Los valores diferentes de estrés entre ambos tipos de lesión en el presente estudio puede explicarse por el mayor volumen que presenta una lesión cóncava en relación a una lesión en cuña.^{17, 18}

Se encontró que los mayores valores de “stress” se dan a nivel del borde superior de la misma, es decir a nivel de esmalte, en la lesión tipo cuña, lo cual también fue encontrado por Zeola *et al* en su estudio en el cual encontraron que los mayores valores de “stress” se situaban alrededor de la unión cemento esmalte en dirección coronal¹⁷

El origen de la calcificación pulpar en piezas con lesiones cariosas cervicales está relacionado con la teoría hidrodinámica que señala que los estímulos externos causan deformación en los túbulos dentinarios y en las paredes de la pulpa dental, lo que induce al flujo del líquido intrapulpar a través de los túbulos dentinarios,

desencadenando un impulso nervioso. Por lo que el trauma de oclusión o alguna alteración en el componente masticatorio podrían causar inflamación pulpar.¹⁹ Dependiendo de la duración y severidad del trauma la pulpa experimenta cambios como hialinización tisular, calcificación pulpar o necrosis y el periodonto desarrolla periodontitis apical principalmente.²⁰

o hay estudios de distribución de “stress” en piezas con calcificación pulpar, pero si se han realizado en dientes con tratamiento de conductos, donde se ha encontrado que la presencia de mayor concentración de estrés se da en el borde inferior de la zona cervical donde empieza el conducto y la obturación de gutapercha.²¹ Otros estudios mencionan que cuando una pieza tiene tratamiento de conductos o con preparación para poste ha perdido más del 50% de su estructura dentaria por lo tanto pierde significativamente su capacidad de resistencia a las fuerzas excesivas lo que hace que estas piezas sean más susceptibles a fracturas.^{21, 22, 23} Por otro lado, tenemos un cambio en las propiedades físicas de la pieza dentaria debido a una calcificación pulpar, esta calcificación se da por tejido de tipo dentinario (17.07 MPa), por lo que este tiene naturalmente un módulo de Young mayor al de la pulpa (0.06 MPa) o al de la gutapercha (0.69 MPa).²²

Según los resultados del estudio realizado, existe una diferencia en la concentración de “stress” según la presencia de lesión cervical no cariosa y la morfología que dicha lesión presente. Lo que se observa principalmente en la lesión tipo cuña la cual difiere en más de 95% en relación a la concentración de “stress” si adicionalmente presenta calcificación pulpar y que en presencia de 75% de calcificación pulpar la distribución de “stress” aumenta significativamente a nivel del tejido pulpar.

También Zeola *et al* encontraron en su estudio que el máximo "stress" en dientes sanos y con lesiones cervicales no cariosas se presentó cerca a los cuernos pulpares vestibulares del lado contralateral a la carga, ¹⁷dato importante que argumenta nuestra hipótesis, es decir, que los cambios biomecánicos en la pieza dental tienen implicancias a nivel pulpar.

Sería interesante que se realicen estudios epidemiológicos acerca de la relación entre el tipo de lesión y la calcificación pulpar para así poder determinar si la presencia de lesiones cervicales podría justificar la calcificación pulpar, así como también realizar estudios con MEF donde se evidencia la evolución de la pieza dentaria cuando es sometida a fuerzas oclusales de manera incremental.

IX. CONCLUSIONES

1. En una pieza sin lesión los mayores valores de “stress” se encontraron en dentina y tanto en una pieza con lesión tipo cóncava como en una pieza con lesión tipo cuña se encontraron en esmalte.
2. La lesión tipo cóncava presentó mayores valores de “stress” independientemente de la calcificación pulpar.
3. A nivel pulpar la mayor concentración de “stress” se presentó en una lesión tipo cuña con 75% de calcificación pulpar.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Mejía F, Calle M. Estudio de una patología dental por medio de elementos finitos. *Ingeniería e investigación* 2005; 25(1): 15-21.
2. Michael J, Kaidonis J, Townsend G. Non-carious cervical lesions on permanente anterior teeth: a new morphological classification. *Aust Dent J* 2010; 55: 134-137.
3. Wood I, Jawad Z, Paisley C, Brunton P. Non-carious cervical tooth surface loss: A literature review. *Journal of dentistry* 2008; 36: 759 – 766.
4. Antonelli J, Hottel T, García- Godoy F. Abfraction lesions – where do they come from? A review of the literature. *Journal of the Tennessee dental association* 2013; 93(1): 14 – 21.
5. Brandini D, Lunardeli C, Panzarini S, Pedrini D. Clinical evaluation of the association between non carious cervical lesions and occlusal forces. *J Prosthet Dent* 2012; 108: 298-303.
6. Zmener O. Calcificación pulpar y endodoncia: estado actual, diagnóstico y posibilidades de tratamiento. *RAOA* 2009; 97(3): 209 – 215.
7. López-Marcos J. Etiología, clasificación y patogenia de la patología pulpar y periapical. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2004; 9: S52-62.
8. Fuentes M. Propiedades mecánicas de la dentina humana. *Av. Odonloestomatol* 2004; 20(2): 79-83.
9. Tsurumachi T, Huang TJ, Zhan W, Hayashi M, Ogiso B. Scanning electron microscopic study of dentinal pulpal walls in relation to age and tooth area. *J Oral Sci.* 2008; 50(2):199-203.
10. Soares P, Santos-Filho P, Soares C, Faria V, Naves M, Michael J, Kaidonis J et. al. Non-carious cervical lesions: influence of morphology and load type on biomechanical behaviour of maxillary incisors. *Aust Dent J.* 2013; 58(3):306-14.
11. Soares P, Machado A, Zeola L, Souza P, Galvão A, Montes T et. al. Loading and composite restoration assessment of various non-carious cervical lesions morphologies - 3D finite element analysis. *Aust Dent J.* 2015; 60(3):309-316.
12. Mantilla F, Málaga J. Distribución de tensiones mediante el análisis de elementos finitos en dientes restaurados directa e indirectamente después de un tratamiento endodóntico. *Kiru* 2008, 4(1): 36-51.
13. Pereira FA, Zeola LF, Almeida G, Reis BR, Pereira RD, Soares PV. Restorative material and loading type influence on the biomechanical behavior of wedge shaped cervical lesions. *Clin Oral Investig.* 2016 Apr;20(3):433-41.
14. Jakupović S, Anić I, Ajanović M, Korać S, Konjodžić A, Džanković A, Vuković A. Biomechanics of cervical tooth region and noncarious cervical lesions of different morphology; three-dimensional finite element analysis. *Eur J Dent.* 2016 Jul-Sep;10(3):413-8.
15. Palamara JE, Palamara D, Messer HH, Tyas MJ. Tooth morphology and characteristics of non-carious cervical lesions. *J Dent.* 2006 Mar;34(3):185-94.
16. Daley TJ, Harbrow DJ, Kahler B, Young WG. The cervical wedge-shaped lesion in teeth: a light and electron microscopic study. *Aust Dent J.* 2009 Sep;54(3):212-9.
17. Zeola LF, Pereira FA, Machado AC, Reis BR, Kaidonis J, Xie Z, Townsend GC, Ranjitkar S, Soares PV. Effects of non-carious cervical lesion size, occlusal loading and restoration on biomechanical behaviour of premolar teeth. *Aust Dent J.* 2016 Dec;61(4):408-417.

18. Soares PV, Machado AC, Zeola LF, Souza PG, Galvão AM, Montes TC, Pereira AG, Reis BR, Coleman TA, Grippo JO. Loading and composite restoration assessment of various non-carious cervical lesions morphologies - 3D finite element analysis. *Aust Dent J*. 2015 Sep;60(3):309-16.
19. Su KC, Chuang SF, Ng EY, Chang CH. An investigation of dentinal fluid flow in dental pulp during food mastication: simulation of fluid structure interaction. *Biomech Model Mechanobiol*. 2014 Jun;13(3):527-35.
20. Caviedes-Bucheli J, Azuero-Holguin M, Correa-Ortiz J, Aguilar-Mora M, Pedroza-Flores J, Ulate, E, et al. Effect of experimentally induced occlusal trauma on substance P expression in human dental pulp and periodontal ligament. *JOE* 2011; 37(5): 627-630.
21. Sathorn C, Palamara JE, Palamara D, Messer HH. Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis. *J Endod*. 2005 Apr;31(4):288-92.
22. Je-Kang D, Wei-Ko L, Chau-Hsiang W, Huey-Er L, Hung-Yuan L, Ju-Hui W. FEM analysis of the mandibular first premolar with different post diameters. *Odontology* 2011; 99(2): 148-154.
23. Soares PV, Santos-Filho PCF, Queiroz EC, Araújo TC, Campos RE, Araújo CA, Soares CJ. Fracture resistance and stress distribution endodontically treated maxillary premolars restored with composite resin. *J Prosthodont* 2008;17(2):114-119.
24. Morales Chacón, A; Bolaños D. Efecto de la oclusión traumática sobre el tejido pulpar *Revista Científica Odontológica* 2008, 4(2): 58-65

ANEXO 1

DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE UNA PRIMERA PREMOLAR INFERIOR

Descripción Primer Premolar Mandibular.

1. Cara Vestibular:

- Simétrica bilateralmente con forma trapezoidal, el lóbulo vestibular medio está bien desarrollado con una cúspide vestibular grande y puntiaguda, siendo la cresta mesial más corta que la distal.
- El diámetro mesiodistal en el cuello es menor que en área de contacto.
- La raíz es 3 o 4 mm. más corta que el canino mandibular.
- Esmalte liso y no presenta surcos de desarrollo.

2. Cara Lingual:

- La corona y raíz se estrechan en dirección lingual desde el cuello hasta el ápice, es así como la cúspide lingual es siempre corta y pequeña.
- Presenta un surco de desarrollo mesiolingual.

3. Cara Mesial:

- La punta de la cúspide vestibular está centrada aproximadamente sobre la raíz. La convexidad del perfil del lóbulo lingual queda por lingual al perfil de la raíz.
- El lóbulo mesiovestibular de desarrollo es prominentemente visto desde esta cara.
- La línea cervical de la cara mesial es bastante regular, curvándose oclusalmente. La cresta de la curvatura está centrada vestibulolingualmente y tiene una extensión media de 1 mm. pero en ocasiones puede ser décimas de milímetro e incluso presentarse como una línea recta.
- La distancia entre el área de contacto y la línea cervical es muy corta.

4. Cara Distal:

- La cresta marginal confluye con la cresta de la cúspide lingual; no existe surco de desarrollo en la cresta marginal distal.

- La mayor parte de la corona es suavemente convexa, con una superficie esférica continua.
- El área de contacto distal es más ancha que el área mesial, siendo la curvatura de la línea cervical igual que la mesial.

5. Cara Oclusal:

- El lóbulo medio vestibular representa el mayor volumen de la corona del diente.
- La cresta vestibular es prominente con vértices redondeados.
- La corona converge marcadamente hacia el centro de la cara lingual. Esta disposición hace que una parte de la corona formada por las crestas de la cúspide vestibular, las crestas marginales y el lóbulo lingual adquiera la forma de un triángulo cuya base estaría en las crestas cuspidas vestibulares y el vértice en la cúspide lingual.
- Las crestas marginales están bien desarrolladas.
- La cara oclusal alberga dos depresiones, fosa mesial y fosa distal.

ANEXO 2

TABLA DE DIMENSIONES PROMEDIO, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y RANGOS PARA UNA PRIMERA PREMOLAR INFERIOR

Distancia	Media Total	SD. Total	Rango Máximo	Rango Mínimo
V-L	7.99	0.545	8.535	7.445
M-D	7.47	0.37	7.84	7.1
C-A	8.83	0.765	9.595	8.065
Long. Raíz	14.4	1.28	15.68	13.12
Long. Coronal	8.83	1.28	10.11	7.55
Long. Total	23.23	0.96	24.19	22.27

ANEXO 4
CUADRO DE OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición. operacional	Tipo	Indicadores	Escala de medición	valores y categorías
Distribución de fuerzas	Fuerza generada o distribuida sobre la pieza dental	Distribución del “ <i>stress</i> ” a nivel cervical luego de recibir una fuerza externa	Cuantitativa	Escala de Von Mises	Discreta	MPa
Morfología de la lesión	Forma dada por la lesión cervical no cariosa	Morfología que toma la lesión cervical no cariosa	Cualitativa	Clasificación Michael et al.	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sin lesión ✓ Superficial ✓ Forma de cuña ✓ Cóncava ✓ Muesca ✓ Irregular
Calcificación pulpar	Diámetro perdido de la cámara pulpar	Calcificación del órgano pulpar dada por una lesión de abfracción.	Cualitativa	-	Ordinal	<p>Órgano pulpar sano</p> <p>Calcificación del 25% de la cámara pulpar</p> <p>Calcificación del 50% de la cámara pulpar</p>

ANEXO 5

PROPIEDADES DE ESTRUCTURAS DENTALES

Material	Tipo de Propiedades	Módulo de Elasticidad		
		Lonfitudinal	Transversal	Z
Esmalte	Ortotrópicas	73.72 GPa	63.27 GPa	63.27 GPa
Dentina	Ortotrópicas	17.07 GPa	5.61 GPa	5.61 GPa

Material	Tipo de Propiedades	Módulo de Elasticidad	Coefficiente de Poisson
Hueso	Isotrópicas	13.70GPa	0.3
Pulpa	Isotrópicas	0.00207GPa	0.45
Ligamento Periodontal	Isotrópicas	0.0689GPa	0.45

Coefficiente de Corte			Coefficiente de Poisson		
Lonfitudinal	Transversal	Z	Longitudinal	Transversal	Z
20.89 Gpa	24.07 Gpa	20.89GPa	0.23	0.45	0.23
1.7 GPa	6.0 GPa	1.7 GPa	0.3	0.33	0.3