

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias de la Salud

“ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN PREMOLARES  
INFERIORES UNIRRADICULARES MEDIANTE LA TÉCNICA DE  
ELEMENTOS FINITOS”

Ana Belén Parra Revilla

Dr. Santiago Bravomalo

Director de Tesis

Tesis de Pregrado presentado como requisito para la obtención del título de  
Odontología

Quito, enero de 2013

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias de la Salud

“ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN PREMOLARES INFERIORES  
UNIRRADICULARES MEDIANTE LA TÉCNICA DE ELEMENTOS FINITOS”

Ana Belén Parra Revilla

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Dr. Santiago Bravomalo

\_\_\_\_\_

Director de Tesis

Dra. Johanna Monar Coloma

\_\_\_\_\_

Tutora de Tesis

Dra. María Eugenia Browne

\_\_\_\_\_

Miembro del Comité de Tesis

Dra. Ana Cristina Viteri

\_\_\_\_\_

Miembro del Comité de Tesis

Dr. Dicson Andrade

\_\_\_\_\_

Miembro del Comité de Tesis

Dr. Fernando Sandoval

\_\_\_\_\_

Decano de la Facultad de Odontología

Quito, enero de 2013

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política. Así mismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art.144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

-----

Nombre: Ana Belén Parra Revilla

C. I.: 1714958152

Fecha: 14/01/2013

**DEDICATORIA**

A Dios por darme la oportunidad de ser feliz y por estar a mi lado en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante  
toda mi vida.

A mis padres, por quienes he logrado hacer realidad cada uno de mis sueños y mis anhelos, por su ejemplo de perseverancia y constancia, por sus valores, por la motivación constante y principalmente por su infinito amor. Ustedes son  
la esencia de mi vida.

A mis hermanos Guillermo, Abraham y Lucciana, quienes son mi alegría, por su constante e incondicional amor.

A mi novio Sebastián por su apoyo, comprensión e inmenso amor que me permite sentir que puedo lograr lo que me proponga.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis profesores por su enorme esfuerzo y dedicación, quienes con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación han sido la base fundamental de mi formación como profesional.

A Ciro Rivadeneira, estudiante de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la USFQ, quien con su voluntad y con su conocimiento hizo posible este estudio.

A Elizabeth Galarraga, estudiante de la Facultad de odontología de la USFQ, quien colaboró con el estudio.

## RESUMEN

Los tratamientos endodónticos son considerados la última alternativa para mantener dientes en la cavidad bucal, sin embargo las cargas a las que generalmente están sometidos puede provocar fracturas o lesiones en ellos de forma irreversible, de ahí que en la práctica diaria se opta por la colocación de postes interradiculares. El presente estudio pretende a través de un análisis virtual, mediante un software de elementos finitos, evaluar la distribución de fuerzas que se presentan en un diente premolar inferior unirradicular cuando es sometido a diferentes situaciones: diente sano e intacto, diente endodonciado, diente endodonciado en el que fue colocado un poste de fibra de vidrio cilíndrico y finalmente diente endodonciado que recibió un poste cónico del mismo material. Fueron estos dientes virtuales, sometidos todos ellos a una fuerza o carga constante simulando las condiciones en boca, para ello fueron reproducidos en el programa computarizado dichas condiciones de forma virtual. Los resultados fueron interpretados considerando los tonos de color que el programa emite y que representan la concentración de fuerzas en lugares específicos y su distribución. Destacando que en los dientes naturales existe una mejor distribución de dichas fuerzas comparadas con el diente virtual endodonciado donde las fuerzas se concentran a nivel cervical, porque comparando la influencia del formato del perno de fibra de vidrio colocado no pudo detectarse una diferencia significativa entre los dos tipos de perno considerando los lugares de concentración de la fuerza, sin embargo el

perno de forma cilíndrica permitió una distribución más uniforme de fuerzas según el programa virtual empleado.

Los elementos finitos permiten reproducir en datos condiciones a las que generalmente los dientes vitales están sometidos, sin embargo de la cierta susceptibilidad de interpretación que no está ajena al proceso, si bien la finalidad de este estudio fue evaluar el comportamiento mecánico de un diente premolar endodonciado frente a la distribución de esfuerzos, los resultados permiten observar una distribución generalmente localizada a nivel cervical que podría explicar ciertos accidentes tipo fractura que se presentan generalmente en dientes sometidos a tratamientos de endodoncia.

**PALABRAS CLAVE:** distribución de esfuerzos, diente endodonciado, poste prefabricado de fibra de vidrio y elemento finito (MEF).

## ABSTRACT

Endodontic treatments are considered a last resort to maintain teeth in the mouth; however the loads to which they are submitted, can generally cause fractures or irreversibly injuries to them, hence in daily practice is chosen the placement of intracanal posts. This study aims through a virtual analysis using finite element software, to evaluate the distribution of forces that occurs in a lower premolar unirradicular tooth when subjected to different conditions: healthy and intact tooth, endodontic, endodontic in which was placed a fiberglass cylindrical pole and finally received endodontic conical pole using the same material, being considered these simulations or virtual teeth, all subject to a constant force or load simulating conditions in mouth, such conditions were reproduced virtually in the computer program. The results were interpreted considering the color tone that the program issues and represent the concentration of forces in specific locations and distribution. Noting that in natural teeth there is a better distribution of forces compared to the virtual endodontically tooth, where the forces are concentrated at the cervical level, comparing the influence of the bolt format fiberglass placed no significant difference could be detected between the two types, considering bolt assembly centers of force but the taper bolt allowed a more uniform distribution of forces on virtual schedule used. The finite element data allow to play with the conditions to which generally vital teeth are subject, however some susceptibility of interpretation is not alien to the process, although the purpose of this study was to evaluate the mechanical behavior of a endodontic premolar

tooth against the stress distribution, the results allowed to observe a distribution generally located at the cervical level that could explain certain accidents like fracture type that usually occur in teeth undergoing root canal treatment.

**KEYWORDS:** stress distribution, endodontic tooth, prefabricated post fiberglass and finite element (FEM).

## TABLA DE CONTENIDO

Portada .....	pág. 1
Hoja de Aprobación.....	pág. 2
Derecho de autor.....	pág. 3
Dedicatoria.....	pág. 4
Agradecimientos.....	pág. 5
Resumen.....	pág. 6
Abstract.....	pág. 8
Tabla de contenido.....	pág. 10
Lista de figuras.....	pág. 13
Lista de tablas.....	pág. 17
1. INTRODUCCIÓN.....	pág. 18
2. OBJETIVOS.....	pág. 20
2.1. Objetivo General.....	pág. 20
2.2. Objetivos Específicos.....	pág. 20
3. JUSTIFICACIÓN.....	pág. 21
4. HIPÓTESIS.....	pág. 22
5. MARCO TEÓRICO.....	pág. 23
5.1. LA ESTRUCTURA DENTAL.....	pág. 23
5.2. ENDODONCIA.....	pág. 25

5. 2. 1. Procedimientos preoperatorios al tratamiento endodóntico.....	pág. 26
5. 2. 2. Aislamiento del campo operatorio.....	pág. 26
5. 2. 3. Acceso al conducto radicular.....	pág. 27
5. 2. 4. Limpieza de la cámara pulpar.....	pág. 27
5. 2. 5. Localización y preparación de la entrada del conducto radicular.....	pág. 28
5. 2. 6. Técnica de instrumentación corono apical.....	pág. 28
5. 2. 7. Obturación.....	pág. 29
5. 2. 7. 1. Técnica de condensación lateral.....	pág. 29
5. 3. POSTE o PERNO.....	pág. 30
5. 3. 1. Indicaciones y contraindicaciones en la colocación de poste.....	pág. 31
5. 3. 2. Funciones del poste.....	pág. 32
5. 3. 3. Propiedades ideales de un poste.....	pág. 32
5. 3. 4. Tipos de postes.....	pág. 32
5. 3. 5. Materiales usados en postes.....	pág. 32
5. 3. 6. Características mecánicas del poste o perno.....	pág. 33
5. 3. 7. Conducto radicular en la colocación de poste.....	pág. 34
5. 3. 8. Tejido coronal en la colocación de poste.....	pág. 34
5. 3. 9. Retención.....	pág. 34
5. 3. 10. Resistencia.....	pág. 37

5. 3. 11. Distribución de la tensión.....	pág. 37
5. 3. 12. Resistencia rotacional.....	pág. 38
5. 3. 13. El efecto férula.....	pág. 38
5. 3. 14. Clasificación de los postes.....	pág. 39
5. 3. 15. Cementación de pernos.....	pág. 40
5. 4. MECÁNICA.....	pág. 42
5. 4. 1. Mecánica computacional.....	pág.42
5. 4. 2. Problemas estáticos y dinámicos.....	pág. 42
5. 4. 3. Comportamientos lineales y no lineales.....	pág. 43
5. 4. 4. Alcance de este tipo de estudio.....	pág. 43
5. 5. MECANISMO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF) .....	pág. 43
5. 5. 1. Mecanismo del MEF.....	pág. 44
5. 5. 2. Elemento finito.....	pág. 45
5. 5. 3. Nodos.....	pág. 45
5. 5. 4. Tipos de elementos en MEF.....	pág. 47
5. 5. 5. Malla.....	pág. 47
5. 5. 6. Proceso de análisis de MEF.....	pág. 48
5. 5. 7. Solución del problema.....	pág. 50
5. 6. SOFTWARE CATIA V5 R18 y ABAQUS.....	pág. 51
6. TIPO DE ESTUDIO.....	pág. 52
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	pág. 52

7. 1. MUESTRAS.....	pág. 52
7. 1. 1. Muestras reales.....	pág. 52
7. 1. 2. Muestras virtuales.....	pág. 53
7. 2. MATERIALES.....	pág. 54
7. 3. METODOLOGÍA.....	pág. 55
7. 3. 1. Fase real in vitro.....	pág. 55
7. 3. 1. 1. Medición de estructuras externas del premolar.....	pág. 55
7. 3. 1. 2. Medición de estructuras internas del premolar.....	pág. 56
7. 3. 2. Fase virtual: diseños de los cuatro dientes premolares virtuales en El software CATIA V5 R18.....	pág. 59
7. 3. 2. 1. Elaboración de un cubo sólido en donde se esculpirá el diseño del diente.....	pág. 59
7. 3. 2. 2. Diseño del diente virtual.....	pág. 61
7. 3. 2. 3. Diente virtual B.....	pág. 69
7. 3. 2.4. Dientes virtuales C y D.....	pág. 71
7. 3. 3. Procedimiento de Análisis de Elementos Finitos....	pág. 76
7. 3. 3. 1. Análisis de los materiales.....	pág. 76
7. 3. 3. 2. Aplicación de las cargas y condiciones de borde.....	pág. 78
7. 3. 3. 3. Enmallado.....	pág. 80
8. RESULTADOS.....	pág. 83

8. 1. Resultados de simulación del diente virtual A.....	pág. 85
8. 2. Resultados de simulación del diente virtual B.....	pág. 86
8. 3. Resultados de simulación del diente virtual C.....	pág. 87
8. 4. Resultados de simulación del diente virtual D.....	pág. 88
9. DISCUSIÓN.....	pág. 89
10. CONCLUSIONES.....	pág. 93
11. RECOMENDACIONES.....	pág. 95
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	pág. 96

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Estructura de un avión conformada por millones de elementos cúbicos.....pág. 45
- Figura 2. Elemento finito con 12 nodos.....pág. 45
- Figura 3. A. Dibujo de un elemento finito con forma de triángulo tetragonal con 4 nodos; B. Dibujo de un elemento finito con forma de triángulo tetragonal con 10 nodos.....pág. 46
- Figura 4. Un nodo de los elementos finitos equivale a un átomo de cada molécula.....pág. 46
- Figura 5. Ejemplo de un elemento lineal: Barra.....pág. 47
- Figura 6. Ejemplo de un elemento plano: Cuadrado.....pág. 47
- Figura 7. Ejemplo de un elemento sólido tridimensional: Cubo.....pág. 47
- Figura 8. Mallado de un diente premolar incrustado en el hueso alveolar.....pág. 48
- Figura 9. Pasos a seguir en el análisis con MEF.....pág. 48
- Figura 10. Ejemplo de mallado de la corona de un diente premolar.....pág. 49
- Figura 11. Representación del desplazamiento hacia debajo de los nodos ante una fuerza.....pág. 50
- Figura 12. Radiografías periapicales frontal y lateral de diente premolar inferior. Imágenes obtenidas en clínica de la facultad de odontología, USFQ.....Pág. 56
- Figura 13. Cavidad pulpar de premolar dividida en 5 segmentos.....pág. 57
- Figura 14. Cuadro plano estipulado en el software.....pág. 60

Figura 15. Confección del ancho del bloque.....	pág. 60
Figura 16. Confección de la altura del bloque.....	pág. 61
Figura 17. Bloque sólido.....	pág. 61
Figura 18. Imagen visión frontal, en proceso de elaboración del premolar mediante software CATIA V5 R18.....	pág. 62
Figura 19. Imagen visión lateral, en proceso de elaboración del premolar mediante software CATIA V5 R18.....	pág. 63
Figura 20. Vista panorámica del premolar en tercera dimensión.....	pág. 64
Figura 21. Vista vestibular del premolar en tercera dimensión.....	pág. 64
Figura 22. Vista lateral del premolar en tercera dimensión.....	pág. 65
Figura 23. Vista frontal premolar seccionado.....	pág. 66
Figura 24. Delimitación de las paredes de la cámara pulpar.....	pág. 66
Figura 25. Vista frontal de la cavidad de cámara pulpar.....	pág. 67
Figura 26. Simulación de tejido pulpar.....	pág. 67
Figura 27 Unión de las partes para formar diente A .....	pág. 68
Figura 28. Ensanchamiento y convergencia de las paredes dentinarias..	pág. 69
Figura 29. Simulación de gutapercha condensada, dispuesta como un solo cuerpo dentro del conducto.....	pág. 70
Figura 30. Simulación de lo que vendría a ser una capa cemento obturador.....	pág. 70
Figura 31 Unión de las piezas para formar diente B .....	pág. 71

- Figura 32. Simulación de 5 mm de gutapercha condensada restante después de desobturar la parte en donde se coloca el poste..... pág. 72
- Figura 33. Simulación de poste de fibra de vidrio cónico..... pág. 73
- Figura 34. Simulación de poste de fibra de vidrio cilíndrico..... pág. 73
- Figura 35. Hueso periodontal virtual .....pág. 74
- Figura 36. Unión de las estructuras del diente C ..... pág. 75
- Figura 37. Aplicación de cargas y de condiciones de borde.....pág. 78
- Figura 38. Aplicación de cargas y de condiciones de borde..... pág. 78
- Figura 39. Aplicación de cargas.....pág. 79
- Figura 40. Aplicación condiciones de borde.....pág. 79
- Figura 41. Vista externa del diente mallado.....pág. 81
- Figura 42. Vista interna mediante un corte sagital del mallado del premolar, del poste de fibra de vidrio, 5 mm de gutapercha restante y resina compuesta.....pág. 82
- Figura 43 .Diente A: premolar inferior virtual sin patología dentaria (grupo control).Diente B: premolar inferior virtualmente endodonciado y restaurado con técnica directa (resina compuesta).....pág. 84
- Figura 44. Diente C: premolar inferior virtual portador de poste de fibra de vidrio cónico y restaurado con técnica directa (resina compuesta) Diente D: premolar inferior virtual portador de poste de fibra de vidrio cilíndrico y restaurado con técnica directa (resina compuesta).....pág. 84
- Figura 45. Esfuerzos generados bajo aplicación de carga distribuida en diente natural..... pág. 85

Figura 46. Corte transversal en el cuello del premolar virtual. Muestra de los esfuerzos distribuidos en una amplia zona..... pág. 86

Figura 47. Esfuerzos generados bajo aplicación de carga que están concentrados en una sola zona del cuello de premolar endodonciado.....pág. 87

Figura 48. Esfuerzos generados en cuello del premolar bajo endodoncia con poste cónico de fibra de vidrio..... pág. 88

Figura 49. Esfuerzos generados en cuello del premolar bajo endodoncia con poste cilíndrico de fibra de vidrio.....pág. 89

## LISTA DE TABLAS

- Tabla. 1. Indicaciones para colocación de postes intrarradiculares.....pág. 31
- Tabla. 2. Contraindicaciones para colocación de postes intrarradiculares.....pág. 31
- Tabla. 3. Los cuatro tipos de simulacros usados en el estudio.....pág. 53
- Tabla. 4. Propiedades mecánicas los materiales usados.....pág. 74

## 1. INTRODUCCIÓN

Odontología es una rama de la medicina encargada del diagnóstico, tratamiento y prevención de las enfermedades del aparato estomatognático, a través de sus especialidades como son endodoncia, periodoncia, rehabilitación oral, odontología preventiva, cirugía oral y maxilofacial, implantología, odontopediatría, odontología forense y ortodoncia; cada una de ellas centradas en su ámbito específico a devolver la función, estética y mantener un equilibrio en la salud de nuestros pacientes (Conceição, 2).

Endodoncia es la rama de la odontología que trata a los conductos radiculares de dientes fracturados o dientes que por procesos de destrucción por caries profundas presentan como sintomatología pulpitis o inflamación de la pulpa dental, buscando mediante el tratamiento de los conductos radiculares la remoción de bacterias, tejido necrótico u otras afecciones, con el fin de mantener asépticos a estos conductos y alargar la permanencia de estos dientes en boca por un tiempo prolongado (Canalda, 1).

Un diente endodonciado merece especial atención, donde pese a estar libre de estructura pulpar, por el hecho de permanecer en boca continua sometido a fuerzas oclusales que lo convierten en un elemento susceptible y altamente propenso a sufrir fractura, sugiriendo de esta manera para su refuerzo la colocación de postes intrarradicales (Wagnild 786). Los postes son agentes de retención para al material que actúa como muñón siendo en el caso de los postes de fibra de vidrio, a la resina que forma este muñón, el mismo que será cubierto por una corona protésica, actuando sin embargo, también como ayuda en la distribución de esfuerzos provenientes de las cargas masticatorias (Bessone 229).

La etapa rehabilitadora luego de la ejecución de un tratamiento endodóntico, es de suma importancia para el éxito integral del tratamiento del diente. Los profesionales odontólogos frecuentemente nos enfrentamos a la decisión de qué tipo de tratamiento rehabilitador ejecutaremos en estos dientes

endodonciados. Debido al adelgazamiento de las paredes dentinarias, a la ausencia de techo cameral y al desgaste de tejido dental en sus coronas, estos dientes generalmente se encuentran debilitados estructuralmente tanto en su tercio medio o cuello, como en sus tercios coronal y radicular. Buscando una solución a este problema desde años atrás se vienen probando diferentes alternativas y es en las últimas décadas donde ciertos elementos de retención intrarradicular del tipo postes prefabricados de materiales considerados biocompatibles (fibra de vidrio y resina) han tomado gran importancia (Gómez, 32).

Durante los últimos años se ha estudiado la influencia que tiene un poste en la distribución de estas cargas (Bessone 229), cuestionándose sus propiedades biomecánicas, con el fin de determinar hasta qué punto un poste protege al diente de fracturas (Saldarriaga 33). Aparentemente un diente endodonciado posee una baja capacidad de absorber las fuerzas masticatorias, lo cual induce a las fracturas a nivel del cuello dental que se producen por la concentración no equitativa o sobrecarga de fuerzas en dicha zona. De ahí la necesidad de colocar un poste que vendría a actuar como un colchón o amortiguador, captando estas fuerzas y distribuyéndolas hacia el mayor número de zonas posibles

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general:**

Determinar a través de un simulacro virtual, si un poste de fibra de vidrio intrarradicular distribuye mejor las fuerzas masticatorias verticales y horizontales de la zona cervical o cuello dental que cuando no se coloca uno en un diente unirradicular endodonciado.

### **2.2. Objetivos específicos:**

- Determinar a través de un simulacro virtual la zona que soporta más estrés cuando es sometido a fuerzas masticatorias verticales y horizontales en un diente unirradicular endodonciado.
- Determinar si el uso de un endoposte cónico de fibra de vidrio, distribuye mejor las fuerzas masticatorias en un diente unirradicular endodonciado que el uso de un endoposte cilíndrico de igual material.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El tratamiento de conductos suele asociarse a varias complicaciones. El espesor de las paredes dentinarias se adelgazan por la instrumentación del canal y como consecuencia, estas se debilitan. Por otro lado, al extraer el tejido nervioso se elimina conjuntamente el tejido vascular que es el centro de irrigación sanguínea del diente. La dentina, un tejido que es el encargado de aportar cierta elasticidad al diente, al no contar con el fluido sanguíneo que lo nutre, se convierte en un tejido deshidratado altamente propenso a fracturas, al momento de ser sometido a las cargas propias de la mordida (Soares, 270).

Calabria (2009) menciona: que tanto en dientes sanos, como en dientes endodonciados, las cargas masticatorias se concentran y se acumulan especialmente en la zona cervical, lo que con alta incidencia provoca gran cantidad de fracturas en estos dientes endodonciados, siendo su origen con alta frecuencia iniciada a nivel del tercio cervical o cuello dental.

Conceição (2007), sostiene que una de las principales funciones de un poste es actuar como un agente distribuidor de esfuerzos a lo largo del diente, principalmente en su tercio medio, ayudando a que exista menor concentración de cargas en esta zona, disminuyendo de esta manera el riesgo de lesiones dentales, sin embargo de estas afirmaciones un gran porcentaje de autores sostienen que la colocación de este tipo de dispositivos restauradores (postes) no cumplen ningún tipo de función en cuanto a distribución de fuerzas limitando su acción a la mera restitución del segmento coronario.

Estas afirmaciones plantean la duda del verdadero beneficio que un poste proporciona en la distribución de fuerzas a nivel de la zona cervical de un diente. La base científica de estas inquietudes no parece estar sustentada por la investigación, limitándose al resultado práctico y de la propia experiencia de cada profesional. La tecnología actualmente está cada vez más al alcance de todos y la existencia de ciertos programas computarizados actualmente nos permiten simular acciones proporcionando resultados que hace poco tiempo

solo podían obtenerse luego de años de observación clínica. Estos programas nos acercan a una realidad virtual que reproduce condiciones clínicas diarias, de ahí la finalidad de ejecutar este estudio donde se pretende empleando la tecnología computarizada actual, simular condiciones bucales y proyectarnos a encontrar resultados antes difícilmente imaginados (Pezzoti, 3).

#### **4. HIPÓTESIS**

Un poste de fibra de vidrio actúa como un agente repartidor de las fuerzas masticatorias e impide que el tercio cervical sea un centro absorbente de esfuerzos, dispersando el estrés en gran número de áreas a lo largo del tejido dental, disminuyendo con esto el riesgo de fractura a causa de una sobrecarga de fuerzas a nivel dental.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. LA ESTRUCTURA DENTAL

El diente consta de tres partes: raíz, corona y la unión entre las dos que es el cuello. Está conformado por cuatro tejidos, es decir el esmalte que recubre a la dentina coronal, la dentina que encierra a la cavidad pulpar, tejido pulpar, y cemento que rodea a la raíz. El límite entre el esmalte y el cemento es la línea amelo-cementaria (Velayos, 111), su fisiología está íntimamente relacionada con los tejidos circundantes como el ligamento periodontal, hueso alveolar y encías (Nelson, 4).

**5.1.1. El esmalte dental:** es una estructura muy dura compuesta en su mayoría por hidroxiapatita que representa el segmento mineral de este tejido, así como de proteínas considerados elementos orgánicos del mismo. Su formación inicia a partir de los ameloblastos, desde las primeras etapas de formación del diente (Velayos, 112; Nelson, 4). Considerada una estructura libre de células, carece de la posibilidad de regeneración, por lo cual no es clasificada como un tejido. Sin embargo, posee la capacidad de absorber las fuerzas de masticación sin quebrarse (Barrancos, 261).

**5.1.2. La dentina:** es un tejido duro (menos que el esmalte pero más que el hueso y el cemento) que conforma la mayor parte de la estructura dental. Está compuesta de un 50% de contenido mineral o cristales de hidroxiapatita y de un 30% de su volumen de material orgánico como el colágeno tipo 1 y finalmente un 20% lo conforman un líquido similar al plasma sanguíneo (Fuentes, 79; Palma, 66).

La dentina es un tejido que se ubica debajo del esmalte coronal y del cemento radicular. Delimita las paredes de la cámara pulpar y de los conductos radiculares. Conformado por millones de túbulos en cuyo interior se encuentran las prolongaciones protoplasmáticas de los odontoblastos provenientes de la pulpa. Estas prolongaciones se enlazan con los nervios transportadores de sensaciones producidas por estímulos de parte de agentes irritantes externos (Palma, 66).

La dentina se divide en tres tipos:

- a. Dentina primaria: se forma antes de la erupción del diente.
- b. Dentina secundaria: presente en un diente ya erupcionado, es la dentina que se va regenerando con el fin de compensar el esmalte perdido por las fuerzas masticatorias.
- c. Dentina terciaria: actúa como un mecanismo de defensa ante estímulos agresores para proteger a la pulpa. Los agentes agresores pueden ser caries o traumas (Palma, 66).

**5.1.3. La pulpa dental:** es un tejido blando, conjuntivo, laxo, conformada por vasos sanguíneos, vasos linfáticos y nervios. El flujo sanguíneo contenido en la pulpa permite nutrir al diente y mantenerlo vital. Los nervios sensitivos presentes en este tejido se prolongan a la dentina por medio de sus túbulos permitiendo la percepción de los estímulos externos e internos dando respuesta a estos mediante el dolor (Soares, 3).

En la parte superficial de este tejido, existen células altamente diferenciadas llamadas odontoblastos, los cuales son permanentemente capaces de producir dentina para reaccionar y proteger a la pulpa de agentes agresores. Mantiene una relación estrecha con la dentina y juntas constituyen el complejo dentino-pulpar (Soares 3).

**5.1.4. El cemento radicular:** es un tejido duro muy parecido al hueso, trabaja a manera de anclas que sujetan el diente al hueso alveolar mediante fibras de tejido conectivo del ligamento periodontal (Raspall, 2006). También se define como un tejido mesenquimatoso calcificado avascular que conforma a la parte exterior de la raíz dental (Carranza, 2010).

Frente a una recesión gingival por enfermedad periodontal o por alteraciones en la oclusión, el cemento radicular queda expuesto al medio bucal, su alta permeabilidad explicaría que frente a estas circunstancias se produzca la penetración de bacterias hacia el tejido dentario, afectándolo (Carranza, 2010).

**5.1.5. El ligamento periodontal:** se compone principalmente de fibras de colágeno dispuestas en haces a las cuales se denomina fibras de Sharpey, ubicadas entre el hueso alveolar y la totalidad del entorno de la raíz del diente. Su función principal es conectar a la raíz dental con la pared interna del hueso alveolar (Carranza, 2010).

Entre otras funciones del ligamento periodontal, está la transferencia de fuerzas masticatorias al hueso actuando como un colchón ante el impacto de las mismas, es una de las más importantes, actuando además en la formación así como resorción del cemento y el hueso, proporcionando nutrientes al cemento, hueso y encía mediante los vasos sanguíneos, así, como aportando en el drenaje linfático (Carranza, 2010).

**5.1.6. El hueso alveolar:** es la parte tanto del maxilar, como de la mandíbula que se encarga de formar y sostener a los alveolos dentarios. Consta una lámina externa cortical y una lámina interna cortical, entre ellas se ubica el hueso trabecular esponjoso (Carranza, 2010; Raspall, 2006).

**5.1.7. La encía o gíngiva:** es una estructura compuesta por tejido conectivo rodeada de tejido epitelial que abraza al diente. Dividida anatómicamente en tres porciones, la encía marginal o libre, encía insertada y encía interdental (Carranza, 2010; Martínez 2009). Su función principal es la de proteger al diente de la penetración de microorganismo y agentes nocivos hacia los tejidos más profundos (Carranza, 2010).

## **5.2. ENDODONCIA**

Considerada la ciencia médica, parte de la odontología, que tiene como objetivo estudiar las estructuras, la morfología, la fisiología y la patología de la pulpa dental y los tejidos que la rodean. Encargada también de la etiopatogenia, el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de las enfermedades y lesiones de la pulpa así como de los tejidos periapicales (Canalda, 1).

### **5. 2. 1. Procedimientos preoperatorios al tratamiento endodóntico:**

Al ser un procedimiento tan esencial en la mantención del diente dentro de la cavidad bucal, con el fin de ejecutar y mantener un tratamiento endodóntico adecuado, es importante aplicar ciertos procedimientos preoperatorios que resultan necesarios y hasta imprescindibles en el éxito de este tipo de tratamiento:

- a. Desinfección y esterilización tanto el material, como las superficies en donde serán colocados los instrumentos que se usarán en la endodoncia para prevenir una contaminación directa o cruzada.
- b. Preparación al paciente informándolo claramente de los procedimientos que se seguirán durante la endodoncia.

- c. Anestesia al diente que será sometido al tratamiento de conductos para disminuir y controlar el dolor del paciente.
- d. Preparación coronaria, dejándola libre de cálculos, placa, caries, restauraciones filtradas. Dejando tejido remanente sano de donde se sujete la grapa que sostendrá al dique durante el proceso de aislamiento (Soares, 7; 8; 10; 11).

### 5. 2. 2. Aislamiento del campo operatorio

Procedimiento ejecutado para mantener la asepsia durante y después de la endodoncia, se realiza dicho aislamiento del tipo absoluto mediante el empleo de dique de goma y grapas. Permitiendo a través de este procedimiento una mejor visibilidad del diente e impedir que los instrumentos y los líquidos empleados comúnmente en el tratamiento endodóntico contacten con la cavidad oral (Soares, 13).

### 5. 2. 3. Acceso al conducto radicular

Es el proceso que tiene como primer paso crear la apertura coronaria para poder localizar la entrada de los conductos. Contando como premisa que un buen acceso es el que permite al operador instrumentar correctamente (Soares, 35). Siendo recomendable seguir un protocolo de apertura coronaria específico para obtener un correcto acceso:

- **Punto de elección:** es el punto de la cara palatina o lingual donde se debe comenzar la apertura (Soares, 35).
- **Penetración oclusal:** se trata de la perforación de los tejidos duros coronales hasta alcanzar la cámara pulpar, realizada generalmente con una fresa redonda proporcional al tamaño del diente a ser tratado (Soares, 36).

- **Forma de conveniencia:** es la forma que adopta la cavidad y se encuentra en dependencia de la forma del diente a ser tratado. Durante esta etapa lo más importante es no dejar salientes en la pared de la cavidad, dejando de forma clara y nítida paredes lisas, uniformes y sobre todo que posean continuidad con las paredes de los conductos; acción que se puede realizar con una fresa Endo Z (Soares, 36; 40 y 41).

#### **5. 2. 4. Limpieza de la cámara pulpar**

Acción ejecutada durante el procedimiento endodóntico con el objetivo de contar con buena visibilidad de la entrada de o de los accesos, buscando mediante su ejecución la eliminación de todo el tejido pulpar a nivel de cámara (Soares, 42). La realización de este paso es indispensable y las sustancias empleadas en este deben ser empleadas con la máxima precaución para evitar infiltraciones o problemas posteriores.

#### **5. 2. 5. Localización y preparación de la entrada del conducto radicular**

La continuidad que a esta altura existe entre las paredes de la cámara y el conducto facilitarán su localización de la entrada de los conductos radiculares, la cual se alcanza por medio de una sonda recta y puntiaguda. Si la entrada de los conductos es estrecha, es correcto ampliarlos cuidadosamente con el uso de una fresa Batt, permitiendo así una fácil instrumentación (Soares, 43). La preparación o instrumentación puede ser ejecutada siguiendo diferentes técnicas.

### **5. 2. 6. Técnica de instrumentación corono apical**

Después de ejecutada la preparación coronal, se procede a la toma de la longitud de trabajo por medio de una lima manual #15 mediante la ayuda del detector de ápice, siguiendo a este proceso por la constatación radiográfica para comprobar la longitud correcta (Pérez, 1).

Una vez establecida la longitud de trabajo, se procede a realizar el ensanchamiento y confirmación del tercio apical, para lo cual se puede empezar con una lima #10, para luego continuar con una #15, #20, #30, #35 y finalmente con una #40, siempre a la misma longitud de trabajo. Siguiendo el orden aconsejado en el protocolo, después se prosigue con las limas de la segunda serie acortadas 1mm, 2mm y 3mm de la longitud de trabajo definitiva, respectivamente. Finalmente se realiza la recapitulación con una lima # inicial para reafirmar el paso después del uso de cada lima y prevenir el bloqueo del conducto radicular (Pérez, 1).

La irrigación abundante, durante todas las etapas del proceso endodóntico, es de suma importancia, de esta manera la irrigación entre cada lima es recomendado realizarla con hipoclorito de sodio en una concentración de al menos 2.5 % a través de un jeringa de insulina, con la precaución de que la luz de la aguja esté ubicada lateralmente para así evitar el contacto de este líquido con el tejido periapical. La irrigación, aparte de desinfectar el sistema de conductos, también ayuda en la eliminación del detritus y permite la lubricación de las paredes con el fin de facilitar la instrumentación (Pérez, 1).

### **5. 2. 7. Obturación**

El objetivo de la obturación es rellenar hermética y tridimensionalmente el sistema de conductos radiculares ya preparados para evitar con esta acción que exista el paso de bacterias y con esto una futura lesión peri radicular o se mantenga la lesión preexistente (Goldberg, 1).

Goldberg (2002) menciona que: existen diferentes técnicas para ejecutar esta etapa que serán escogidas por el operador considerando las necesidades rehabilitadoras de cada diente y la anatomía propia de cada estructura dental.

### **5. 2. 7. 1. Técnica de condensación lateral**

En la terapia endodóntica existe una gran variedad de técnicas para obturación, sin embargo la que más se usa es la técnica de condensación lateral en frío, técnica que requiere seguir ciertos lineamientos o pasos:

**5.2.7.1.1 Elección del cono principal:** considerado el cono que se ajusta convenientemente en la porción apical del conducto instrumentado, por lo que su longitud debe poseer la misma medida que la de la longitud de trabajo del conducto del diente tratado (Goldberg, 2)

**5.2.7.1.2 Elección y colocación del sellador endodóntico:** la elección del material obturador endodóntico adecuado se encuentra en dependencia de ciertas características que estos materiales deben poseer para ser considerados idóneos como cementos de obturación endodóntica, características entre las cuales se destacan el poseer una pobre o nula posibilidad de no desintegrarse, solubilizarse, reabsorberse, ni contraerse en el interior del conducto radicular. Siendo necesario para la ejecución de esta etapa el embadurnar o envolver el cono principal con este cemento (Goldberg, 2).

**5.2.7.1.3 Condensación lateral del material obturador:** consiste en la introducción, mediante el espaciador, del material de obturación dentro del conducto radicular. Este instrumento espaciador debe poseer un calibre relacionado al del conducto a obturar, que al ser retirado permite la introducción de los conos accesorios embadurnados previamente con el cemento obturador, ocupando así el espacio creado por el instrumental espaciador previamente. Tanto en longitud como en calibre cada cono debe ser cuidadosamente determinado de uno en uno, siendo colocados hasta rellenar la luz del conducto completamente. Finalmente se corta los conos a nivel de la entrada del o los conductos con una espátula caliente (Goldberg, 2).

**5.2.7.1.4 Compactación vertical de la obturación:** una vez terminada la condensación lateral se aconseja presionar la masa de obturación en sentido apical mediante un atacador de gutapercha que se mantenga siempre acorde al calibre del acceso. Este paso tiene como objetivo mejorar la tridimensionalidad y por ende el sellado (Goldberg, 3).

Es importante mencionar que la obturación endodóntica debe limitarse a la medida de la longitud de trabajo para no correr el riesgo de invadir los tejidos peri radiculares, recordando siempre que el límite correcto de la obturación hacia apical está situado aproximadamente a un milímetro del foramen apical (Goldberg, 4).

#### **5.2.7.1.5. Técnicas de obturación que emplean gutapercha termoplastificada**

A partir de la técnica de condensación lateral, se desarrollaron varias técnicas de obturación que emplean gutapercha termo plastificada, las mismas que buscan una obturación personalizada para cada conducto radicular (Soares, 159).

Esta técnica se usa comúnmente para obturar conductos amplios, con anfractuosidades en sus paredes, istmos, reabsorciones internas, etc. Esta técnica se dividen en:

- Técnica termo mecánica
- Técnica térmica
  - Técnicas no inyectables
  - Técnicas inyectables (Soares, 159).

#### **5.2.7.1.5. 1.Técnicas termo mecánicas**

##### **a. Técnica McSpadden**

En este tipo de técnicas la gutapercha se ablanda mediante el calor que se produce por la fricción de unos elementos llamados compactadores, los cuales giran a baja velocidad en el conducto radicular (Soares, 159)..

Los compactadores están hechos de acero inoxidable y su diseño es similar al de una lima Hedstroem, sin embargo las espirales en este caso están invertidas. Sus calibres van desde #25 hasta #80, con longitud de 21mm y 25mm. Los pasos a seguir en esta técnica son:

- Después de la colocación del sellador en las paredes dentinarias, se procede a colocar el cono principal dentro del conducto.
- El compactador que se utiliza debe entrar sin presión exagerada hasta que llegue al tercio medio.
- Una vez ya seleccionado el compactador, se debe cerciorar que la rotación debe estar en sentido horario.
- El compactador se introduce en el conducto hasta 2mm antes del límite apical de trabajo, lo cual mediante el calor producido por la fricción, plastificará la gutapercha y la compactará dentro del conducto.

- A medida que la gutapercha se compacta, el instrumento tiene que salir del conducto, muy lentamente y con el micromotor en movimiento.
- Se retira el compactador e inmediatamente se realiza la compactación vertical mediante atacadores (Soares, 159)..

#### **b. Técnica híbrida**

- Los primero pasos de esta técnica se basan exactamente en la condensación lateral, la cual usa sellador, con lo principal y con los accesorios. Después, mediante un espaciador se crea un espacio en los tercios cervical y medio.
- Se introduce, en sentido horario, un compactador de gutapercha con un calibre algo inferior al diámetro del conducto radicular.
- Esto permitirá que se ablande y se compacte la gutapercha (Soares, 159).

#### **c. Quick-fill**

- Son compactadores de titanio recubiertos de gutapercha y se presenta en calibres #15 a #60, con longitud de 21mm a 25mm.
- Este instrumento debe ser menor en dos números que el último instrumento empleado en la conformación apical del conducto.
- Después de introducir el sellador en el conducto, se procede a colocar el compactador de tal manera que gire en sentido horario, hasta el límite apical de la operación.
- Mientras se compacta la gutapercha el instrumento es retirado aun en movimiento (Soares, 160).

### 5.2.7.1.5.2. Técnicas térmicas

#### Técnicas no inyectables

##### a. Técnica de compactación vertical de la gutapercha caliente

- La gutapercha caliente se plastifica dentro del conducto mediante un instrumento caliente.
- Se compacta mediante atacadores (Soares, 160).

##### b. Thermafill (Dentsply Mayllefer)

- Se trata de unos vástagos de plástico recubiertos con gutapercha, los mismos que tienen diferente calibre y conicidad.
- Se selecciona el calibre adecuado de acuerdo a las dimensiones del conducto radicular mediante los verificadores. El Thermafill seleccionado tiene el mismo número del verificador.
- Se coloca una pequeña cantidad del sellador en el tercio cervical.
- El Thermafill que se eligió se coloca en un horno el mismo que al encontrarse ya caliente, se lo retira y se lo inserta en el conducto suavemente.
- Se corta el vástago plástico en la entrada del conducto con una fresa redonda
- La gutapercha se compacta en sentido vertical mediante atacadores (Soares, 160).

##### c. Microseal

- Se escoge el cono principal, después se aplica un poco de sellador en las paredes dentinarias y se introduce este cono dentro del conducto.
- Un espaciador digital creará el espacio para la introducción del compactador que fue recubierto con gutapercha termoplastificada.
- Se expulsa mediante una jeringa y se calienta en un horno, se acompaña con los conos de gutapercha. Ambas gutaperchas se

homogenizan en el interior del conducto mediante un compactador (Soares, 161).

**d. System B (Analytic technology)**

- Es una pieza de mano que se acopla a un generador de calor en la que se inserta atacadores especiales de diferentes calibres.
- Se escoge el cono principal.
- Se coloca un poco de sellador en las paredes.
- Se introduce el atacador seleccionado en el conducto y al mismo tiempo se presiona el interruptor situado en la pieza de mano, lo cual elevará la temperatura de este atacador. Con esto se ablanda la gutapercha y se procede a atacar digitalmente durante 10 segundos. De esta manera ya se tiene obturada el tercio apical, se procede a hacer lo mismo en los dos siguientes tercios del conducto (Soares, 161).

**e. Obtura II (Obtura Corporation y Ultra-fill Hygenic)**

- Estos dos sistemas son de inyección de gutapercha termoplastificada, en donde se usan pistola o agujas de diferentes calibres, para llevar la gutapercha al interior del conducto.
- El primero, utiliza cilindros de gutapercha, aguja y una pistola. Se inserta la aguja en la punta de la pistola y un cilindro de gutapercha en la parte superior de una cámara.
- Se presiona el disparador de la pistola, la gutapercha pasa por el calentador situado en la parte anterior de la pistola, se ablanda y fluye por la punta de la aguja.
- En el segundo caso, Ultrafill se maneja una pistola metálica y cánulas plásticas que poseen una aguja en uno de sus extremos (Soares, 162).

**f. Injec-Rfill (Moyco/Unión Broach)**

- Es una cánula metálica que está llena de gutapercha, que calentada previamente en una llama, es expulsada de la cánula por medio de un

vástago ajustado en su interior. Se utiliza para obturar los tercios coronarios y medio, cuando ya se obturó la porción apical con alguna otra técnica. La compactación se realiza con compactadores manuales (Soares, 164).

### **5. 2. 8. Desobturación parcial**

Remoción parcial del material de obturación con fines protésicos, mediante métodos mecánicos y térmicos (Flores, 1).

La preparación del diente para espiga o pilar, requiere que la pieza se encuentre asintomática clínicamente y sin signos radiográficos post obturación radicular (Flores, 1).

#### **5. 2. 8. 1. Métodos Mecánicos**

El material obturador se elimina con la ayuda de fresas tallo largo desde el menor diámetro hasta el diámetro elegido del perno. Una vez preparado el conducto, el material de relleno remanente debe ser condensado verticalmente. No debería quedar espacio entre el material de obturación y la espiga (Flores, 5).

#### **5. 2. 8. 2. Métodos Térmicos**

Se utilizan instrumentos calientes para plastificar la gutapercha y retirarla mediante limas K y H (Flores, 5).

#### **5. 2. 8. 3. Errores comunes**

- Desobturación total del conducto
- Falsa Vía
- Perforación

- Desgaste excesivo de las paredes del conducto (Flores, 5).

#### **5. 2. 8. 4. Requisitos previos a desobturación parcial**

- Radiografía del diente tratado, reciente (no más de 3 meses) y sin distorsiones.
- La radiografía es útil como auxiliar en el diagnóstico de las alteraciones de los tejidos duros de los dientes y estructuras perirradiculares, para evaluar la cantidad, ubicación, forma, tamaño y dirección de las raíces y canales radiculares, así como para calcular y confirmar la longitud de éstos antes de la preparación quimiomecánica.
- Obturación del o los canales radiculares adecuada en longitud y amplitud (densidad).
- Diente clínicamente asintomático, sin dolor a la percusión, ni a la palpación y sin fístulas o abscesos.
- Obturación realizada con un tiempo de anterioridad tal, para que el cemento haya fraguado y también sellado los conductos accesorios impidiendo la penetración de bacterias (Flores, 5).

#### **5. 3. POSTE o PERNO**

Definido como el segmento de la restauración insertado en el conducto radicular, cuya presencia permite ayudar en la retención del componente del muñón. Generalmente construido por un material rígido colocado en la raíz del diente. Puede ser fabricado de metales o de sustancias no-metálicas. El perno es importante en la restauración de los dientes no-vitales que tienen un daño coronal significativo pero con insuficiente estructura dental sana remanente sobre la inserción periodontal que permite asegurar una restauración coronal en condiciones óptimas (Nagesware 226).

### 5. 3. 1. Indicaciones y contraindicaciones en la colocación de poste

La literatura refiere ciertas consideraciones en cuanto a las indicaciones y contraindicaciones de la colocación de postes en dientes endodonciados considerando la ubicación del diente en la arcada, así divide en dientes ubicados en la zona anterior y dientes ubicados en la zona posterior, como lo muestra la tabla a seguir:

Dientes	Indicaciones
<b>Zona anterior: incisivos centrales, laterales y caninos</b>	-Pérdida de rebordes marginales, cingulo y borde incisal. -Altas demandas funcionales del diente.
<b>Premolares</b>	-Pérdida significativa de estructura coronal. -Cámara pulpar pequeña. -Altas demandas funcionales
<b>Molares</b>	-Destrucción significativa de estructura coronal. -Altas demandas funcionales.

*Tabla. 1. Indicaciones para colocación de postes intrarradiculares (Nagesware 226)*

Diente	Contraindicaciones
<b>Anteriores</b>	-Lesión coronal leve a moderada. -Dientes intactos. -Suficiente estructura dental remanente.
<b>Premolares</b>	-Suficiente estructura coronal remanente. -En diente con corona clínica muy corta -Demanda funcional estable. -Que no sea un pilar para DPF/DPR.
<b>Molares</b>	-Lesión coronal leve a moderada. -Demanda funcional estable. -Que no sea un pilar para DPF/DPR.

*Tabla. 2. Contraindicaciones para colocación de postes intrarradiculares (Nagesware 227)*

### 5. 3. 2. Funciones del poste

- Protección de la estructura dental remanente.
- Retención del muñón y de la restauración.
- Disipa las fuerzas masticatorias a lo largo de la longitud de la raíz, así distribuye las tensiones equitativamente y proporciona una ligera liberación en los márgenes (Nagesware 227).

Nagesware menciona que el poste no refuerza la raíz, dice que al desgastar dentina interna para colocar un poste, el diente se debilita lo cual es desfavorable en el pronóstico (227).

### 5. 3. 3. Propiedades ideales de un poste

- Protección máxima de la raíz.
- Retención adecuada dentro de la raíz.
- Retención máxima del muñón y la corona.
- Protección máxima del margen de la corona (sellado del cemento).
- Alta visibilidad radiográfica
- Recuperable
- Biocompatibilidad (Nagesware 227).

### 5. 3. 4. Tipos de postes

- Pernos metálicos
  - Pernos colados individualizados
  - Pernos prefabricados: Cónicos y paralelos
- Pernos no-metálicos
  - Pernos de fibra de carbono
  - Pernos reforzados con fibra
  - Pernos de cerámica y zirconio (Nagesware 228).

### 5. 3. 5. Materiales usados en postes

- Metálicos: Aleaciones de oro, cromo-cobalto, níquel-cromo, acero inoxidable, titanio y cobre amarillo (Nagesware 228).
- No metálicos: Fibra de carbono, fibra reforzada, fibra de vidrio, fibra de cuarzo, fibra de polietileno tejida, cerámica y zirconio (Nagesware 228).

### **5. 3. 6. Características mecánicas del poste o perno**

La rigidez del poste es considerado uno de los requisitos imprescindibles en los materiales del poste, siendo un material ideal de un poste aquel que cuenta con mucha rigidez, esta característica es de suma importancia ya que impide la distorsión excesiva de los márgenes de la restauración durante la función (Nagesware 228).

El poseer un módulo de elasticidad correcto permite al poste adquirir características de rigidez. Sin embargo mientras más pequeño el poste sea, más baja será la rigidez que posea, es decir mientras más pequeño sea el diámetro existirá mayor elasticidad. Entendiendo a esta elasticidad como la deformación de un material. Un material con límite elástico alto soportará una fuerza más alta, por ende, el potencial para el cambio permanente de la forma del perno y los márgenes estarán minimizados durante su función (Nagesware 228).

Las características de la fatiga del material usado para la fabricación del perno deben ser buenas porque el perno que soporta una corona está sujeto a la carga y descarga cíclica durante la masticación. Las concentraciones de la tensión, las inclusiones y las fosas de corrosión afectaran el comportamiento de los pernos a la fatiga (Nagesware 228).

En el caso de los pernos metálicos existe la posibilidad de corrosión ya que los fluidos dentinarios contactan con este y lo oxidan provocando corrosión entre el perno y las paredes del conducto y una futura fractura longitudinal u oblicua debido a la aplicación de fuerzas laterales a las paredes de este conducto, motivo por el cual en la actualidad no resulta recomendable el empleo de este tipo de pernos siendo elección actual pernos no metálicos o de titanio (Nagesware 229).

### **5. 3. 7. Conducto radicular en la colocación de poste**

En la técnica de colocación de un perno dentro del conducto radicular, es necesario crear un espacio removiendo una mínima cantidad de estructura dental. El desgaste excesivo debilita a la raíz dando lugar a una posible fractura durante la segmentación del perno o durante la función subsiguiente. La resistencia a las fracturas de la raíz depende mucho del espesor de la dentina remanente. La utilización de pernos más delgados proporciona tensiones internas menores que en pernos gruesos. Sin embargo, otro aspecto muy importante en este ámbito es la falta de conservación de la estructura remanente en las concavidades de las raíces muy curvas. Resulta recomendable que el conducto radicular sea sometido a un ensanchamiento justo y necesario, por ende no se necesita excederse más de uno o dos tamaños de limas adicionales que la usada para el tratamiento endodóntico (Nagesware 229).

### **5. 3. 8. Tejido coronal en la colocación de poste**

Es recomendable siempre ser muy conservador en el desgaste de la estructura coronal, lo que permitirá reducir la concentración en el margen gingival. Existe cierta relación entre la cantidad de estructura dental remanente y el pronóstico del tratamiento, donde al tener mayor cantidad de estructura dental remanente existe un mejor pronóstico para el diente (Nagesware 229).

### **5. 3. 9. Retención**

La retención del perno se define como la capacidad de un perno para resistir fuerzas de desalajo verticales (Nagesware 229). Esta retención depende de ciertos factores del tipo, geometría de la preparación y diseño del perno, la longitud del perno, el diámetro del perno, la textura superficial, el agente de cementación, el número de pernos (Nagesware 229).

**5. 3. 9. 1. Geometría de la preparación y diseño del perno:** durante la preparación de conductos endodónticos circulares es recomendable el empleo de fresas o ensanchadores para paralelizar las paredes permitiendo la colocación de pernos paralelos prefabricados. En conductos cónicos es recomendable la preparación de paredes cónicas siendo preferible colocar pernos colados individualizados o pernos cónicos prefabricados (Nagesware 230).

Los pernos roscados son más retentivos que los cónicos y los cilíndricos, sin embargo los pernos roscados resultan no ser muy recomendados, porque generan alta tensión durante su colocación hecho que debe ser considerado en la elección del tipo de perno a ser colocado (Nagesware 230).

**5. 3. 9. 2. Longitud del perno:** a mayor longitud del poste, mayor es la retención. Es necesario que la longitud del perno sea mayor o igual que la longitud de la corona (Nagesware 230).

La longitud del perno debe respetar ciertos criterios como el de conservar mínimo 5 milímetros de gutapercha a nivel apical, la longitud del perno debe ser igual o mayor a  $\frac{2}{3}$  de la longitud de la raíz, la longitud del perno debe medir igual a la longitud de la corona, en caso de existir poco soporte óseo el poste debe llegar mínimo hasta la mitad de la longitud radicular en el hueso remanente.

Aparentemente un perno corto no es factible de ser colocado porque no distribuye correctamente las fuerzas, así como un perno demasiado largo el cual dañara el sellado apical y provocara una posible perforación en raíces muy curvas. Cuando la longitud está comprometida, serán empleados los pernos de lados paralelos antes que los pernos cónicos y solo en casos extremos deben considerarse los pernos roscados (Nagesware 230).

**5. 3. 9. 3. Diámetro del perno:** no posee gran influencia en la retención del perno dentro de la estructura dental, sin embargo al tener un diámetro del perno aumentado, disminuye la cantidad de dentina remanente, la misma que se convierte en un área de concentración de alta tensión bajo cargas, y por lo tanto un área potencialmente alta para un fracaso. El diámetro del poste debe ser estandarizado con el fin de no agredir el tejido remanente, ni tampoco disminuir la retención del poste (Nagesware 230).

**5. 3. 9. 4. Textura superficial:** un perno estriado o áspero es más retentivo que uno liso. La aspereza puede lograrse con el tratamiento con chorro de arena (Nagesware 230).

**5. 3. 9. 5. Agente de cementación:** el resultado del cementado del perno en la estructura dental, es exitoso cuando el clínico sigue los principios apropiados. Los cementos más usados en este propósito se encuentran elaborados a base de fosfato de zinc, resina, ionómero de vidrio u ionómero de vidrio modificado con resina, siendo esta última evitada por su alta tendencia a sufrir expansión frente al contacto con el agua, provocando una fractura radicular.

Los cementos en base a resina son los más usados por contar con una excelente retención, menor tendencia a la filtración y proporciona un buen reforzamiento radicular. Sin embargo, el cemento de resina requiere la preparación de las paredes dentales con ácido y sistemas adhesivos apropiados cuya adición aumenta los pasos y alarga el proceso. La aplicación de los ácidos y adhesivo en la mayoría de veces resulta una acción muy difícil de ser realizada en la profundidad del conducto, por lo que el empleo de micro cepillos debe ser considerado por su diseño apropiada especialmente para llegar a esta zona (Nagesware 231).

**5. 3. 9. 6. Número de pernos:** en dientes multirradiculares severamente destruidos es factible colocar más de un perno para aumentar la retención del material del muñón. Sin embargo las consideraciones para los dientes posteriores, en casos de conductos curvos resulta conveniente evitar la colocación de pernos largos o circulares. El poste principal debe situarse en el conducto más ancho y los pernos auxiliares en los otros conductos (Nagesware 231).

### **5. 3. 10. Resistencia**

Definida como la capacidad del perno y del diente para soportar las fuerzas laterales y rotatorias (Nagesware 231).

En cuanto a la distribución de la tensión, una de las funciones del perno es optimizar la resistencia a las fuerzas dirigidas lateralmente ya que se encarga de distribuirlas hacia el mayor número de áreas tan uniformemente como sea posible (Nagesware 231).

La forma de resistencia se la define como la capacidad del perno y del diente para soportar las fuerzas laterales y rotatorias (Nagesware 231).

### **5. 3. 11. Distribución de la tensión**

Uno de los objetivos principales en la colocación de un perno es mejorar la resistencia de las fuerzas que se dirigen hacia los extremos, distribuyéndolas sobre un área tan grande como sea posible. Sin embargo, ciertos puntos deben ser tomados en cuenta en la práctica clínica:

- Las tensiones tienden a concentrarse en el hombro y en el ápice, por lo tanto se debe conservar la estructura dentinaria en estas áreas.

- A mayor longitud del perno menor es la tensión, sin embargo, una mayor extensión hacia apical produce menor resistencia a la fractura en esta área.
- Los pernos cilíndricos distribuyen las tensiones de una manera más uniforme que los pernos cónicos los cuales tiende a ejercer un efecto de cuña. Sin embargo al momento de la aplicación del poste cilíndrico, este tiende a generar altas tensiones en el ápice.
- Se debe evitar los ángulos agudos, ya que producen altas tensiones durante la carga.
- Al momento de colocar pernos cilíndricos lisos, es muy probable que se produzca presión hidrostática y generación de tensión apical debido a la dificultad que provocan al escape de cemento, es por esto que los pernos deben tener ventilas o surcos que permitan auto ventilarse.
- Durante la inserción de postes roscados se produce a altas tensiones, sin embargo se ha demostrado que al aflojarlos una media vuelta distribuyen la tensión uniformemente.
- Los pernos reforzados con fibra de carbono o vidrio distribuyen de forma más uniforme la tensión que los pernos de metal (Nagesware, 231 y 232).

### **5. 3. 12. Resistencia rotacional**

Es muy frecuente encontrar que un perno con sección transversal circular rote durante la función, especialmente cuando no existe suficiente estructura coronal. Para evitar estos problemas resulta recomendable tallar un surco pequeño en la zona más voluminosa del conducto la cual servirá como un elemento anti rotatorio; un pin auxiliar en la superficie radicular también impide la rotación. En conductos ovalados o elípticos es menos probable que

se produzca una rotación, por ende se hace necesario tomar mayores cuidados en conductos circulares (Nagesware 232).

### **5. 3. 13. El efecto férula**

Rosen en 1961 describió el soporte extra coronal tipo Férula y lo definió como un collar subgingival o margen de oro que se extiende lo más lejos posible del asiento gingival del muñón rodeando totalmente el perímetro de la porción cervical del diente. Constituyendo una extensión de la corona restaurada que, por su acción abrasante, previene la desfragmentación vertical de la raíz (Nagesware 232).

Durante la función masticatoria, la tensión tiende a concentrarse en la circunferencia del diente, es decir la tensión es más baja dentro de la porción radicular, de ahí que el reforzamiento del diente o férula mediante el abrazamiento a la circunferencia radicular protege a la zona de la raíz donde se concentra el estrés (Nagesware 232).

La colocación de una férula permite la resistencia a la fractura ya que también soporta las fuerzas laterales de los pernos y el efecto de palanca de la corona durante la función; incrementando al mismo tiempo la retención y la resistencia de la restauración (Nagesware 233).

Una férula exitosa debe poseer un máximo de 2 ml de altura de la pared axial dentinaria, paredes axiales paralelas, el metal que lo conforma debe rodear totalmente el diente, la férula debe estar ubicada sobre la estructura dental sana (Nagesware 233).

### **5. 3. 14. Clasificación de los postes**

De acuerdo al sistema de retención los pernos comúnmente se clasifican como sistemas de retención pasiva y de retención activa.

**5. 3. 14. 1. Los pernos de retención pasiva:** dependen de su proximidad estrecha a las paredes dentinarias y por la adherencia del medio de cementación. Unos buenos ejemplos de este tipo de retención son los pernos colados, los pernos cónicos lisos, los pernos paralelos estriados y las diferentes variaciones de éstos (Nagesware 235).

Los pernos de retención pasiva, se adaptan generalmente al o los conductos por poseer una preparación cónica, sin embargo solamente los pernos colados son capaces de moldearse completamente al conducto; en el caso de los conductos de forma redonda, estos pernos se ajustan totalmente obteniendo una retención mecánica adecuada. Por otro lado, en los conductos ovoideos los pernos prefabricados solamente se aproximan a dos paredes, dejando su retención en dependencia de la retención pasiva proveniente de la capa de cemento a ser colocada entre el perno y la pared del conducto. (Nagesware 235)

**5. 3. 14. 2. Pernos de retención activa:** estos pernos dependen primariamente de su acoplamiento a la dentina. Poseen roscas que se atornilla en la dentina, tal como un tornillo de madera. La retención por la cementación es secundaria al acople a la dentina (Nagesware, 235)

Los Pernos cónicos y lisos constituyen el tipo de perno con más antigüedad y el más usado por su facilidad en la técnica por su forma ahusada que fácilmente se adapta a la forma natural del conducto radicular. En este grupo de pernos también se incluyen los pernos colados individualizados.

Con respecto a la Retención de este tipo de perno, Nagesware (2010), menciona que estos tipos de pernos son los menos retentivos de todos los modelos, recomendando limitar su aplicación a dientes que no se dispongan a recibir altas cargas funcionales o parafuncionales. Sin embargo, Weine (1997), afirma que cuando utilizados correctamente no presentan problemas en cuanto a su retención.

Al respecto a la tensión durante la instalación, de acuerdo con Nagesware (2010), estos postes al ser cónicos también son autoventilantes y de fácil cementación, existiendo mínima presión hidrostática, ya que un cono no actúa como un émbolo. Sobre la tensión durante la masticación, estos pernos al tener una forma cónica, actúan como cuñas ejerciendo una presión de acuñamiento sobre las raíces durante la función. (Nageswar 235)

### **5. 3. 15. Cementación de pernos**

Todos los tipos de pernos son cementados dentro del conducto radicular mediante materiales considerados cementantes, el cemento que se emplea posee una gran influencia en el pronóstico del diente, ya que mejora la retención del poste, ayuda a la distribución de tensiones y sella cualquier interface existente entre el diente y el poste (Gutmann 560).

Se encuentran reportados ciertos problemas que resultan habituales con respecto a la cementación de los pernos, Gutmann (2007), asegura que existen seis categorías de problemas habituales:

1. Preparación inapropiada del espacio para el perno y errores en la selección del perno.
2. Fracaso en restaurar adecuadamente el diente sobre una restauración perno-muñón.
3. Transmisión de los efectos de las fuerzas oclusales al perno.
4. Fractura del perno.
5. Errores en el procedimiento de preparación del espacio para el perno y en la inserción del mismo.
6. Soporte óseo insuficiente para la raíz en la que se coloca el perno (Gutmann, 561).

Al tener una restauración inadecuada, existe la tendencia a presentarse futuros problemas tanto funcionales, como sintomáticos. Dentro de los

requisitos de una correcta restauración se encuentra la obtención de un equilibrio oclusal adecuado, minimizando así e incluso impidiendo las molestias posoperatorias (Gutmann, 561).

Una oclusión deficiente conllevará a que fuerzas mayores se dirijan a la porción media o apical del perno en la raíz, sucesos que pueden ocasionar una fractura radicular. Se afirma también, que en raíces que no disponen de un buen soporte óseo, las fuerzas se concentran en el extremo apical. (Gutmann 561). Para prevenir errores, Gutmann (2007) sugiere:

1. La preparación tanto en anchura, como en longitud, debe ser lo más conservadora posible.
2. El espacio del conducto radicular debe estar ocupado completamente por el poste y el cemento.
3. Tener excesivo cuidado en raíces con ángulos agudos.
4. No colocar postes en conductos con morfología irregular, ni en cortos.
5. Al usar instrumentos rotatorios para preparar el espacio del perno, se lo debe mantener siguiendo el eje longitudinal de la raíz (Gutmann, 561).

#### **5. 4. MECÁNICA**

La mecánica es parte de la física que estudia el movimiento de un cuerpo (García, 668), se divide en 3 grandes áreas:

- Mecánica Teórica: estudia las leyes y principios, por ejemplo, las leyes de Newton.
- Mecánica Aplicada: transfiere los conocimientos teóricos a las aplicaciones científicas.

- Mecánica Numérica: mediante cálculos numéricos se resuelven aquellos problemas que son difíciles de resolver analíticamente (Pezzoti, 1).

Hoy en día los avances de la computación permiten resolver algunos problemas de manera muy sencilla. El resultado obtenido a partir de la resolución numérica, utilizando a la computación como herramienta de apoyo, es lo que se define como “mecánica computacional”. Los resultados obtenidos a partir de la mecánica computacional deberían ser interpretados teniendo en cuenta la evolución de los fenómenos físicos (Pezzoti, 1).

#### **5. 4. 1. Mecánica computacional**

La mecánica computacional, se divide generalmente en dos grupos:

- Nano mecánica y micro mecánica: que estudia los fenómenos físicos microscópicos de las moléculas y átomos.
- Mecánica del continuo: que estudia los fenómenos físicos macroscópicos de los sólidos y de los fluidos.

#### **5. 4. 2. Problemas estáticos y dinámicos:**

En la mecánica del continuo existen problemas estáticos y dinámicos:

- Estáticos: donde las fuerzas inerciales son nulas o depreciables.
- Dinámicos: donde las fuerzas inerciales permiten el movimiento del cuerpo (Pezzoti, 1).

### 5. 4. 3. Comportamientos lineales y no lineales

- Lineales: se refiere al comportamiento que al ser sometido a una carga, responde a una relación lineal con el valor de la perturbación.
- No lineales: asociados al comportamiento del material y a la geometría del modelo (Pezzoti, 2).

### 5. 4. 4. Alcance de este tipo de estudio

Con lo que se ha mencionado anteriormente, ahora se puede desglosar los campos que abarcan un estudio con elementos finitos:



(Pezzoti, 2)

### 5. 5. MECANISMO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)

El análisis mediante el Mecanismo de Elementos Finitos es utilizado en problemas de ingeniería mecánica desde los años 60. Es un método de cálculos numéricos que nos indican el estado en que se encuentra un cuerpo al ser sometido a una determinada carga externa (Pezzoti, 3 y 4).

Es una herramienta muy útil para poder comprender el comportamiento mecánico de los materiales que constituyen a un cuerpo (Mantilla, 36). Usualmente MEF es aplicado a problemas que no tienen solución analítica o es muy difícil obtenerla, por lo que se convierte en la única alternativa de

resolución. Con este método se pueden resolver problemas que no son fáciles de solucionar mediante modelos matemáticos simples (Pezzoti, 4).

El método de elementos finitos puede ser empleado para representar fenómenos físicos, del tipo:

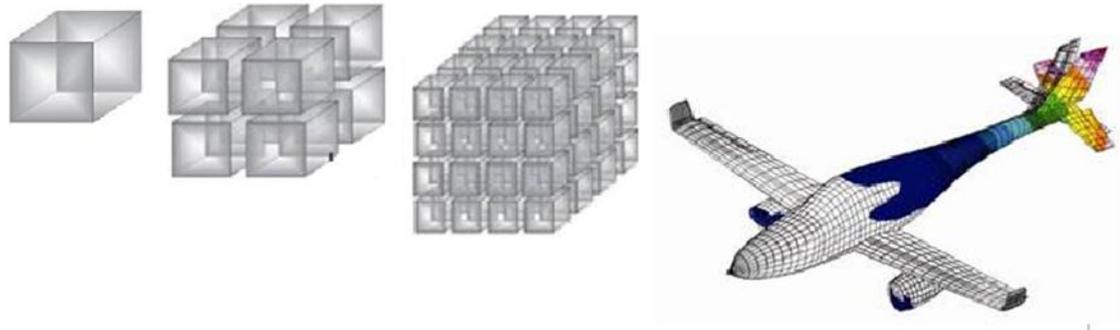
- Fenómenos termodinámicos: distribución de temperaturas en un sólido.
- Simulación de efectos dinámicos: choque de dos cuerpos.
- Geomecánica: comportamiento de la corteza terrestre (Pezzoti, 4).

### **5. 5. 1. Mecanismo del MEF**

MEF se basa en el principio de los trabajos virtuales que imitan exactamente a los de un cuerpo real, por ejemplo, MEF puede imitar el comportamiento que tiene un diente de la vida real ante las cargas externas de la mordida (Mantilla, 37).

La base del método de los elementos finitos es la representación de un cuerpo o estructura por un ensamble de subdivisiones llamadas elementos. Estos elementos se interconectan a través de puntos llamados nodos; estos nodos son un conjunto de puntos que se ubican entre un elemento y otro, desplazándose de un lugar a otro cuando se aplica una fuerza y retornando a su lugar de origen al suspender esta fuerza (Pezzoti, 4).

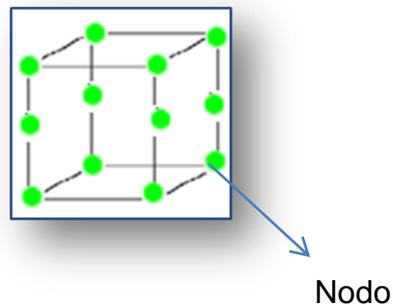
MEF analiza el comportamiento de una estructura constituida por millones de elementos (Pezzoti, 3 y 4). Para entender de una manera didáctica imaginemos que la Fig. 1. es un rompecabezas de un avión que está armado con miles de pequeñas piezas cuboides, la estructura viene a ser el avión que está compuesto por millones de cubos.



*Fig. 1. Estructura de un avión conformada por millones de elementos cúbicos.*

### 5. 5. 2. Elemento finito

Es una unidad que al estar adherida con otras forman una estructura, estas unidades son figuras geométricas como el cuadrado, triángulo, etc. En sus bordes se encuentran los nodos los cuales conectan a estas unidades entre sí (Fornóns, 1).



*Fig. 2. Elemento finito con 12 nodos*

### 5. 5. 3. Nodos

Los nodos son una serie de puntos que se encuentran en los bordes de cada elemento finito, la unión de estos elementos finitos forman una malla. Existen elementos con pocos nodos, por ejemplo un triángulo tetraedro con 4

nodos (Figura 3) , pero también existen elementos con muchos nodos como en el caso del mismo triángulo tetraedro pero con 10 nodos (Fornóns, 87).

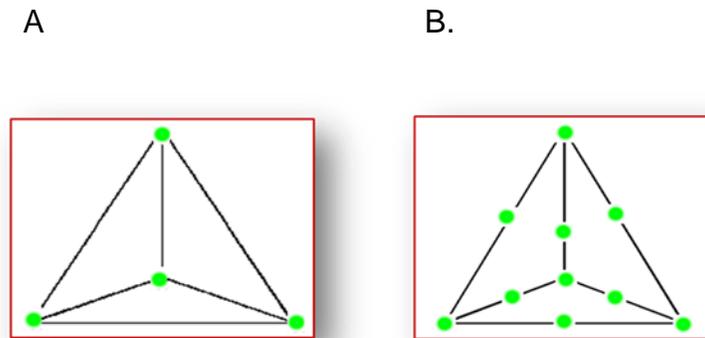


Fig. 3. A. Dibujo de un elemento finito con forma de triángulo tetragonal con 4 nodos;  
B. Dibujo de un elemento finito con forma de triángulo tetragonal con 10 nodos.

Un nodo simula o representa un átomo real del material, a la vez cada nodo es una ecuación que determina el comportamiento que tiene cada material. En otras palabras, los nodos son los átomos virtuales contenidos en la estructura, pero también estos nodos son el sitio donde se asignan las propiedades que tiene el material frente a las fuerzas ejercidas en una dicha zona (Nieto, 498).



Fig. 4. Un nodo de los elementos finitos equivale a un átomo de cada molécula.

Para comprender imaginemos que en cada nodo habita una computadora. Al colocar una fuerza los nodos se desplazan, a medida que esto ocurre, la computadora va captando situaciones tales como la distancia que ha

recorrido el nodo, la cantidad de concentración de estrés que se ha acumulado en aquella zona, etc. Entonces, la suma de todos los resultados que nos proporciona cada computadora será el resultado total del análisis.

#### 5. 5. 4. Tipos de elementos en MEF

Los tipos de elementos que se usan en MEF son:

- **Elementos Lineales (1-D)**: Resorte, barras, vigas.



*Fig. 5. Ejemplo de un elemento lineal: Barra*

- **Elementos Planos (2-D)**: membranas y placas.



*Fig. 6. Ejemplo de un elemento plano: cuadrado*

- **Elementos Sólidos (3-D)**:

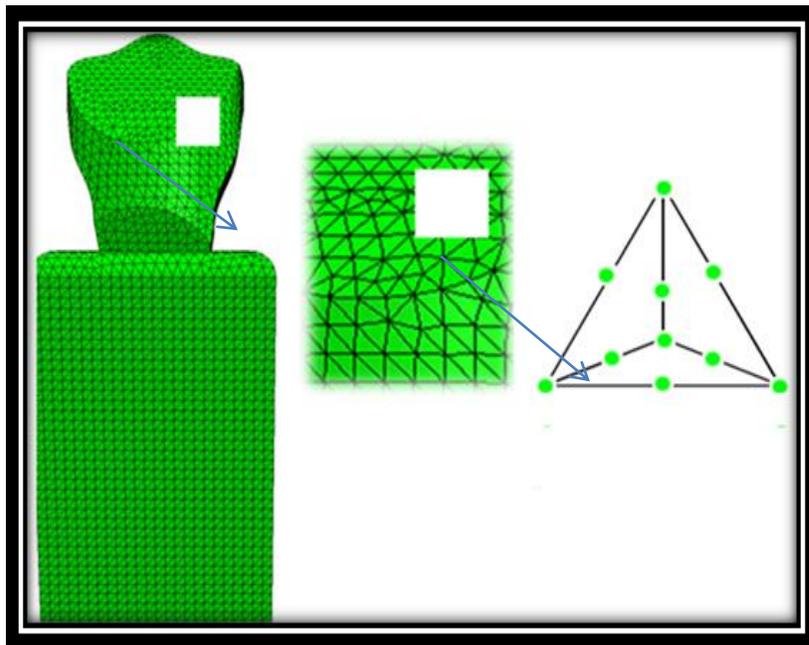


(Pezzoti, 5)

*Fig. 7. Ejemplo de un elemento sólido tridimensional: Cubo*

### 5. 5. 5. Malla

Es el conjunto de elementos finitos que por medio de los nodos se relacionan entre sí para formar la estructura que se pretende estudiar. La malla (Fig. 8), actúa como la red de una araña en la que desde cada nodo se extiende un canal que se dirige hacia el nodo adyacente. El canal es la vía por dónde se transmite la información de un nodo a otro (Fornóns, 87).



*Fig. 8. Mallado de un diente premolar incrustado en el hueso alveolar*

### 5. 5. 6. Proceso de análisis de MEF



*Fig. 9. Pasos a seguir en el análisis con MEF*

#### 5.5.6.1. Modelado Geométrico:

En primer lugar se diseñan todos los elementos, para después unirlos y poder conformar una estructura sólida. Por ejemplo, primero se diseña el esmalte, la dentina, la pulpa, el cemento y el hueso cada uno por separado, después un comando del software hace que estas piezas individuales se junten y así formen una estructura que es el diente.

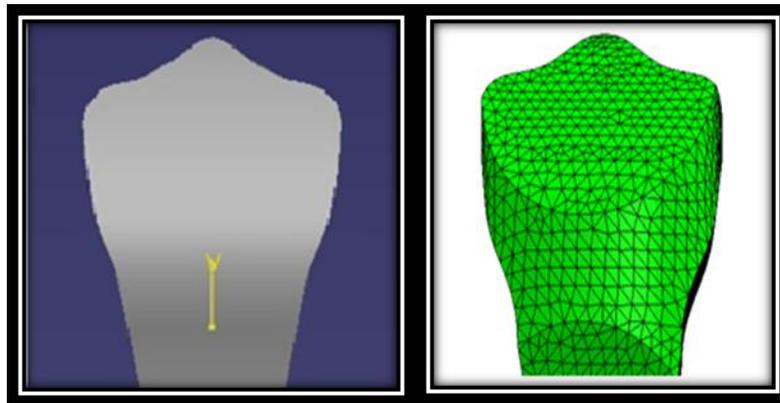
#### 5.5.6.2. Modelado de Elementos Finitos:

Se divide nuevamente la estructura para así tener a las partes por separado y poder asignarles las propiedades de sus materiales respectivamente. Por ejemplo, en el caso del diente, se separan nuevamente

las partes (esmalte, dentina, cemento, etc.) para que otro tipo de comando fije el tipo de material que tiene cada uno.

#### 5.5.6.3. Mallado:

Esta malla se realiza mediante un programa o software generador de mallado en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso (Fornóns, 87).



*Fig. 10. Ejemplo de mallado de la corona de un diente premolar*

#### 5.5.6.4. Definición del Ambiente:

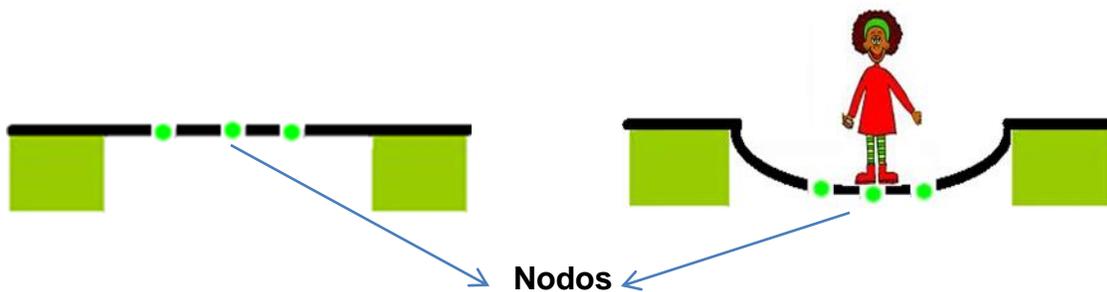
Se unen nuevamente las unidades para formar la estructura. Se aplican las cargas en la zona donde se pretende analizar para simular el ambiente de la operación. Por ejemplo, un comando se encarga de colocar las fuerzas en la zona del cuello del diente.

#### 5.5.6.5. Análisis y Corroboración de Resultados:

Se computan los resultados de las tensiones, deformaciones y desplazamientos a partir del análisis que el programa accedió.

Finalmente se comparan los resultados con los criterios de diseño (Pezzoti, 6). Si es necesario se puede rediseñar la estructura y repetir el proceso con el fin de obtener excelentes resultados, sin embargo se debe saber que, como en todo estudio, este tiene un margen de error que no implica la obtención del resultados exactos y depende del criterio del usuario para definir un resultado coherente y uno que no lo es (Pezzoti, 6).

### 5. 5. 7. Solución del problema



*Fig. 11. Representación del desplazamiento hacia debajo de los nodos ante una fuerza.*

Al aplicar una fuerza el cuerpo tiende a desplazarse, la cantidad de desplazamiento depende de la elasticidad que tiene este cuerpo. Para entender obsérvese la Fig. 11. e imaginemos que una persona está parada en el centro de una lámina de caucho que está sobre dos bases, una a cada lado y dejando la zona central libre. Ahora imaginemos que otra persona se quiere parar en una estructura muy parecida y con las mismas dimensiones, a diferencia de que la lámina está hecha de vidrio. El caucho al tener gran elasticidad y capacidad de deformación solamente se doblará y cuando la persona se retire, el material regresará a su forma original. Por otro lado, la persona que se paró en el centro del vidrio lo rompió instantáneamente, esto quiere decir que el vidrio tiene un grado de elasticidad casi nula.

Cada elemento consta de un tipo de material diferente y cada material se comporta distinto uno del otro, por ejemplo, el material del caucho tiene un mayor módulo de elasticidad que los del vidrio. Para tener resultados exactos en el análisis, es necesario conocer el tipo de material de cada elemento (Fornóns, 87; Pezzoti, 4).

Así, cuando un material es elástico, los nodos de la zona en donde se está aplicando fuerzas, se desplazan de un lugar a otro y una vez retirada la fuerza, vuelven a su lugar de partida. La solución del problema consiste en verificar cuánto se desplazan los nodos del material al ser sometido a una fuerza, y a partir de esto, comprender las deformaciones que sufren los cuerpos (Pezzoti, 4).

## **5. 6. SOFTWARE CATIA V5 R18 y ABAQUS**

Son programas o software para facilitar el diseño, el cálculo y el análisis del comportamiento de estructuras mediante simulaciones que se asemejan mucho a la realidad, obteniendo resultados lógicos que puedan interpretarse y utilizarse en la práctica (Jaramillo, 4).

Un software de esta índole sirve para realizar análisis con elementos finitos que pueden ser usados para simular la respuesta ante cargas que tienen estructuras o cuerpos sólidos, impactos, esfuerzos térmicos, etc. Uno de los beneficios de estos programas es que se puede analizar elementos no lineales, esto quiere decir que se puede analizar un cuerpo en tres dimensiones (Jaramillo, 13; 14).

## **6. TIPO DE ESTUDIO**

Estudio experimental, que se enfoca el medir, observar y analizar determinadas variables a través de un simulacro computarizado. Así mismo, es un estudio comparativo puesto que se evalúan las características mecánicas de la zona cervical de un diente entre 4 situaciones diferentes: diente natural, diente endodonciado, diente con poste de fibra de vidrio cónico y diente con poste de fibra de vidrio cilíndrico. Finalmente es un estudio observacional, en donde mediante un sistema computarizado se medirá y describirá los fenómenos ocurridos a nivel del cuello de un diente premolar.

Este estudio se lo ha realizado con la ayuda del laboratorio de la Facultad de Mecánica de la Universidad San Francisco de Quito.

## **7. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **7. 1. MUESTRA**

Las muestras se dividen en muestras reales y muestras virtuales:

#### **7. 1. 1. Muestras reales**

Tres dientes premolares inferiores unirradiculares humanos elegidos al azar, que cumplieran con los criterios de inclusión citados más adelante. Estos dientes fueron escogidos para que a partir de estos poder realizar los simulacros mecánicos en un software computarizado.

##### **7. 1. 1. 1. Criterios de Inclusión (dientes in vitro)**

- Unirradicular.
- Que en el examen radiográfico presente línea de conducto visible, sin calcificaciones.
- Ápices cerrados.
- Raíz sin curvaturas.

- Coronas intactas, sin presencia de caries ni fracturas.
- Corona clínica casi cúbica.

#### **7. 1. 1. 2. Criterios de Exclusión (dientes in vitro)**

- Que tenga más de una raíz o conducto.
- Que en el examen radiográfico no presente una línea de conducto visible, con calcificaciones.
- Ápices abiertos.
- Raíz curva.
- Coronas con presencia de caries y/o fracturas.
- Corona clínica sin tendencia a ser cúbica.

#### **7. 1. 2. Muestras virtuales**

Este estudio se basó en cuatro simulacros de una pieza dentaria virtual cada uno. Cada simulacro se basó en un estado dental diferente e independiente.

Los cuatro premolares virtuales que fueron diseñados en el software llamado CATIA V5 R18 son:

<b>Simulacro</b>	<b>Diente virtual</b>	<b>Estado que se encuentra el diente virtual</b>
Simulacro A (simulacro de control)	<b>Diente virtual A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En estado completamente sano.</li> </ul>
Simulacro B	<b>Diente virtual B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diente endodonciado.</li> <li>• Sin poste.</li> <li>• Reconstruido con técnica directa de resina.</li> </ul>
Simulacro C	<b>Diente virtual C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diente con poste cónico.</li> <li>• Reconstruido con técnica directa de resina.</li> </ul>
Simulacro D	<b>Diente virtual D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diente con poste cilíndrico.</li> <li>• Reconstruido con técnica directa de resina</li> </ul>

*Tabla. 3. Cuatro tipos de simulacros usados en el estudio.*

## **7. 2. MATERIALES**

### **7. 2. 1. Materiales de muestras reales in vitro**

- Radiovisógrafo CDR Dicom Schick-Logo
- 3 premolares inferiores unirradiculares
- Calibrador marca HU FRIEDY
- Regla
- Turbina NSK
- Fresas cilíndricas medianas y grandes de grano grueso
- Explorador de conductos radiculares. DG-16 de Hu-Friedy

- Limas K-Flexofile, Dentsply; de 25mm, primera (#15-#40) y segunda serie (#45-#80)
- Hipoclorito de sodio al 5.2%
- Jeringa de insulina 1 ml
- Conos de papel
- Conos de gutapercha
- Conos accesorios
- Cemento obturador a base de hidróxido de calcio, Sealapex
- Espaciador
- Condensador
- Lámpara de alcohol
- Fresas Gates Glidden de Kerr: #1 y #2
- Fresas Pecho de Kerr: #1 y #2
- Drill
- Poste de fibra de vidrio cónico
- Postes de fibra de vidrio cilíndrico
- Cemento resinoso (RelyX™ U100 de 3M ESPE)
- Silano (Ultradent®)
- Ácido fosfórico en gel (3M ESPE)
- Bonding (Adper Single Bond 2 3M ESPE)
- Aplicadores de bonding
- Gutaperchero
- Resina (Filtek™ Z350 XT Restaurador Universal A2 de 3M ESPE)
- Lámpara de fotocurado

### **7. 2. 2 Materiales de muestras virtuales**

- Software CATIA V5 R18
- Software de elementos finitos como es ABAQUS CAE 6.9

### 7. 3. METODOLOGÍA

El estudio se dividió en dos fases: la fase real in vitro y la fase virtual:

#### 7. 3. 1. Fase real in vitro

Para reproducir de forma virtual estos procedimientos en cada diente humano real fueron ejecutados procedimientos que sirvieron para obtener valores y mediciones para ser colocados en el programa de computador y poder reproducir virtualmente las condiciones reales. Condiciones que fueron descritas al Ingeniero Ciro Rivadeneira responsable del departamento de ingeniería mecánica de la USFQ para poder trasladar los datos al programa computacional, con el uso del software CATIA V5 R18, quien diseñó una por una las estructuras que conformaron a los cuatro premolares independientemente.

El **Diente premolar # 1**, se lo usó como modelo de referencia para tomar todas las medidas necesarias y así diseñar o graficar los cuatro dientes virtuales que se analizaron en este estudio. El premolar #1, que fue usado como modelo de referencia para realizar los gráficos en 3D que posteriormente serán estudiados en el software, fue sometido a las siguientes características:

##### 7. 3. 1. 1. Medición de estructuras externas del premolar

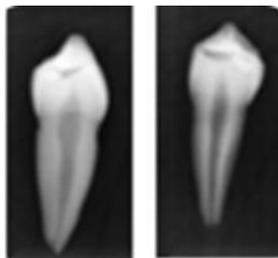
Con un calibrador marca Hu Friedy se midió cada una de las estructuras que conforman el exterior de un premolar y se determinó lo siguiente:

- Altura desde el ápice hasta el borde oclusal de la cúspide vestibular: 23mm
- Altura desde el ápice hasta el borde de la cúspide lingual: 20mm
- Altura de la raíz que va desde el ápice hasta el comienzo de la corona clínica: 14 mm

- Altura de corona clínica por vestibular: 8mm
- Altura de corona clínica por lingual: 5mm
- Atura desde borde oclusal de cúspide lingual hasta borde oclusal de cúspide vestibular: 3mm
- Ancho entre borde de pared distal hasta borde de pared mesial de corona clínica: 7.5mm
- Ancho entre borde de pared distal hasta borde de pared mesial del tercio cervical: 5mm
- Ancho entre borde de pared distal hasta borde de pared mesial de tercio coronal de la raíz: 3.5mm
- Ancho entre borde de pared distal hasta borde de pared mesial de tercio medio de la raíz: 3mm
- Ancho entre borde de pared distal hasta borde de pared mesial de tercio apical de la raíz: 2mm

### 7. 3. 1. 2. Medición de estructuras internas del premolar

Como se observa a continuación en la Fig. 12. se tomó radiografías digitales desde los ángulos frontal y lateral al premolar.

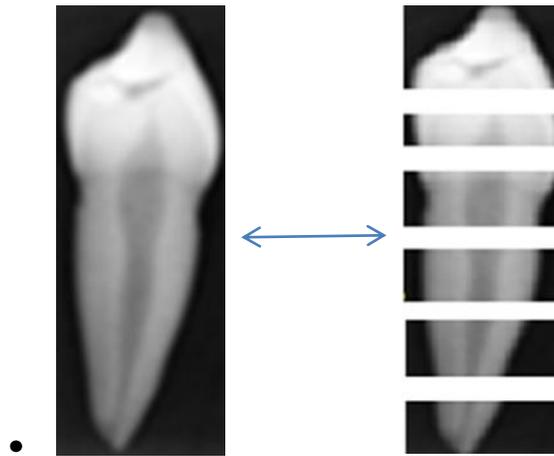


*Fig. 12. Radiografías periapicales frontal y lateral de diente premolar inferior. Imágenes obtenidas en clínica de la facultad de odontología, USFQ.*

- Se determinaron las medidas internas en altura y ancho con la ayuda de las radiografías antes tomadas, las medidas se obtuvieron mediante la

opción de “regla” que tienen el radiovisógrafo CDR Dicom Schick-Logo y se concluyó que la Altura total de la cámara pulpar fue de 15mm.

- Para medir el ancho de la cámara pulpar se la dividió en cinco segmentos, Fig. 13.



• Fig. 13. Cavidad pulpar de premolar dividida en 5 segmentos.

- Primer segmento: 3mm de alto x 1mm de ancho
- Segundo segmento: 4mm de alto x 1.5mm de ancho
- Tercer segmento: 4mm de alto x 1mm de ancho
- Cuarto segmento: 4mm de alto x 0.5mm de ancho
- Quinto segmento: 4mm de alto x 0.5mm de ancho
- Radio del agujero apical: 0.5mm
- Diámetro del agujero apical: 1mm

Así, en el **Diente premolar # 2**, se realizó una endodoncia in vitro solamente con el fin de obtener los datos de un tratamiento de endodoncia con restauración directa de resina compuesta. Para lo cual:

A uno de los premolares que tenía una longitud cúspide-ápice de 22mm, en primer lugar se le tomó una radiografía periapical para determinar que presentaba un conducto amplio y sin calcificaciones.

- Se procedió a realizar la apertura de la cámara que se realizó entrando por el centro de la cara oclusal con una fresa redonda.
- Se extrajo los restos de la pulpa necrosada con un lima K # 20 Dentsply.
- Se determinó la conductometría con una lima # 20, luego se tomó una radiografía digital para obtener la longitud de trabajo la cual fue 21.5mm.
- Una vez establecida la longitud de trabajo se procedió a la instrumentación con limas K-Flexofile, Dentsply. La técnica que se uso fue Step Back. Se irrigó el conducto entre el uso de cada lima con hipoclorito de sodio.
- Se secó el conducto con conos de papel.
- Se obturó el conducto con técnica de condensación lateral en frío.
- Se cortaron los conos a la altura de la entrada del conducto.
- Se restauró directamente la cavidad coronal con resina compuesta 3M.

En el **Diente premolar # 3**, con el mismo fin antes descrito, fue realizado un tratamiento de conducto y posteriormente se colocó un poste cónico en donde finalmente se restauró directamente con resina compuesta. Cabe recalcar que no se realizó una demostración con poste cilíndrico ya que la técnica de colocación viene a ser exactamente la misma que con poste cónico, sin embargo, el poste cilíndrico se incluyó en la lista de materiales porque se lo usó como modelo para adquirir las medidas necesarias para poder diseñar el poste cilíndrico virtual. El procedimiento para realizar el tratamiento de endodoncia fue el mismo que el premolar # 2.

### **7. 3. 1. 2. 1 Colocación de poste in vitro**

Echeverría (2008), menciona que es muy importante considerar que la preparación del espacio no debe exceder el espacio mínimo necesario para la rigidez del diente, ya que de lo contrario se está debilitando la raíz y se pueden producir accidentes no deseados.

La longitud del poste debe extenderse al menos a la mitad de longitud radicular soportada por hueso, y debe mantener una relación entre la corona y la longitud del poste de al menos 1:1. También es importante dejar de 4 a 5 mm de gutapercha en la zona apical. El diámetro del poste no debe exceder 1/3 de anchura radicular en su porción más estrecha (Mannocci, 2002).

Dietschi (2008), los cementos de resina son los de elección, ya que a pesar de ser más sensibles a la técnica y requerir pasos adicionales, tienen múltiples ventajas:

- Aumentan la retención
- Filtran menos
- Refuerzo de la raíz a corto plazo

La combinación de adhesivo de grabado total y cemento de resina dual proporciona la mejor adhesión del poste a la dentina radicular.

### 7. 3. 2. Fase virtual: diseños de los cuatro dientes premolares virtuales en el software CATIA V5 R18

De esta manera mediante el programa de computación antes descrito fueron creados los 4 dientes virtuales:

#### 7. 3. 2. 1. Elaboración de un cubo sólido en donde se esculpirá el diseño del diente A

A partir de un pequeño cuadro plano (Fig. 14.), se solicitó al ordenador que forme un bloque (Fig.17.) con un ancho de 5mm (ancho más prominente que va desde el borde de la pared distal hasta borde de pared mesial del tercio cervical (Fig. 15.)), y una altura de 23mm (altura desde el ápice, hasta el borde oclusal de la cúspide vestibular (Fig. 16.))

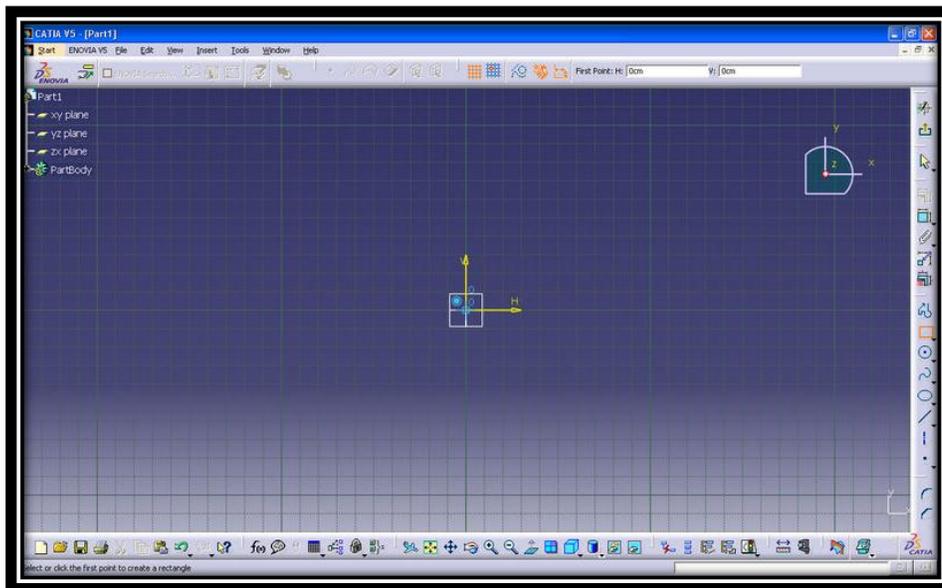


Fig.14. Cuadro plano estipulado en el software

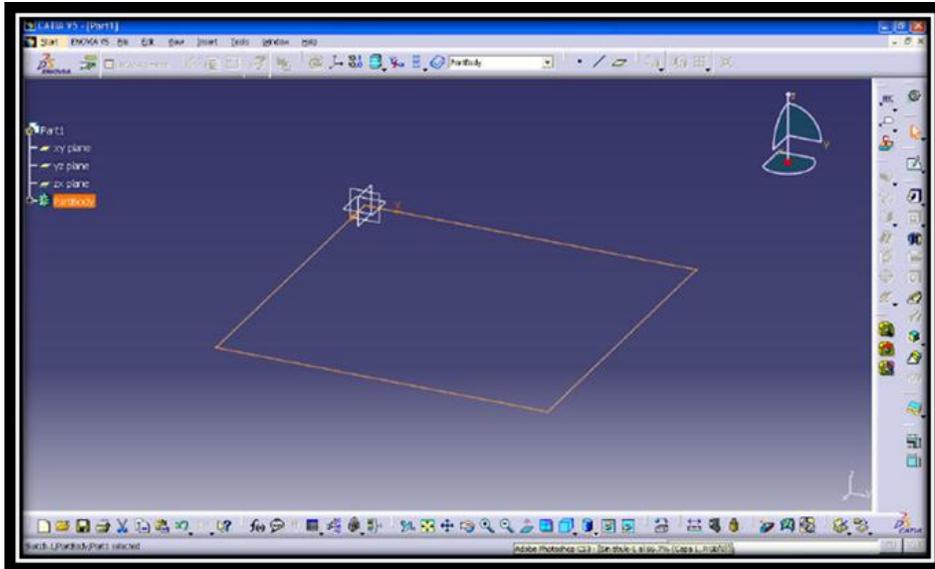


Fig.15 . Confección del ancho del bloque

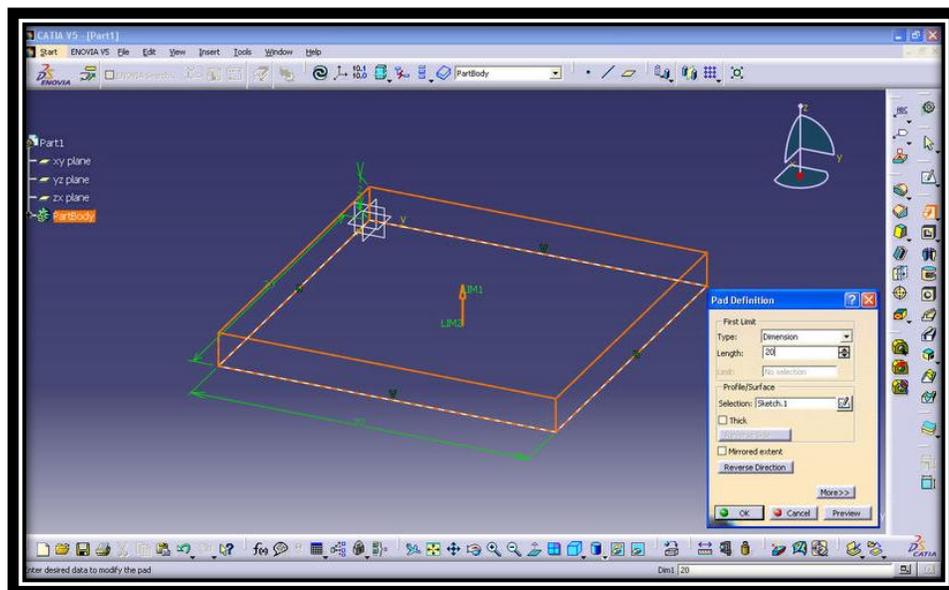
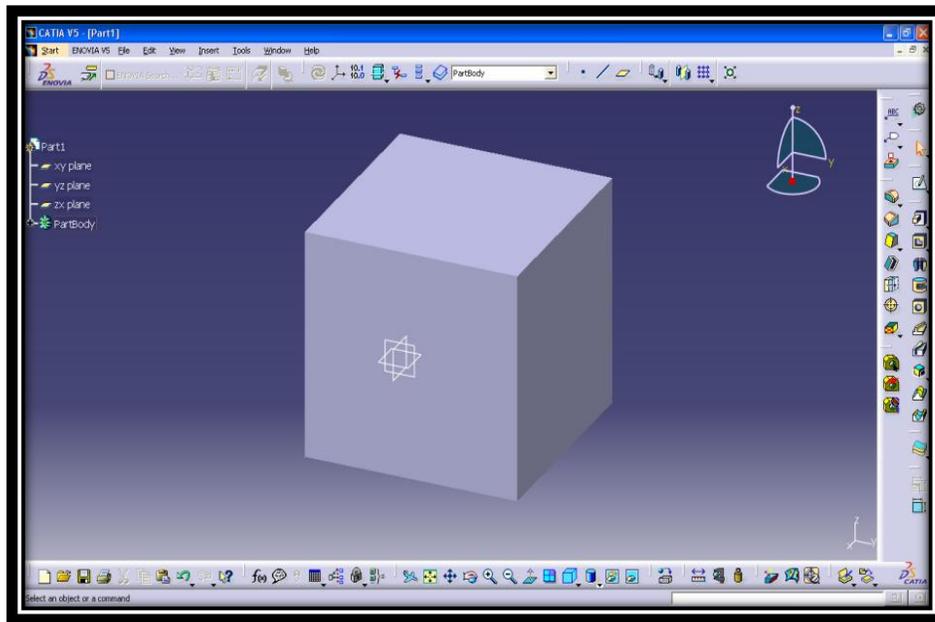


Fig.16 . Confección de la altura del bloqu



*Fig.17. Bloque sólido*

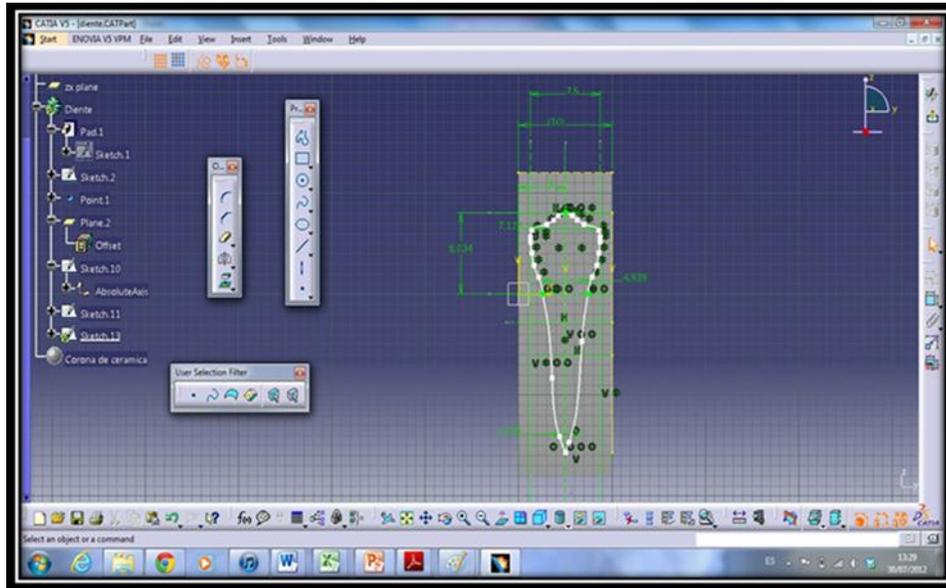
### 7. 3. 2. 2. Diseño de los dientes

**Diente virtual A:** donde en primer lugar fueron diseñadas por separado cada estructura que forman parte de un diente en estado sano es decir el esmalte, dentina, cemento, cámara pulpar, pulpa y hueso periodontal. Después un comando del software permitió unir todas estas estructuras, adaptándolas en su sitio correspondiente. Con este proceso terminado se creó el diente virtual A para posteriormente usarlo en la realización del simulacro A.

#### **Conformación de las estructuras externas del diente virtual A**

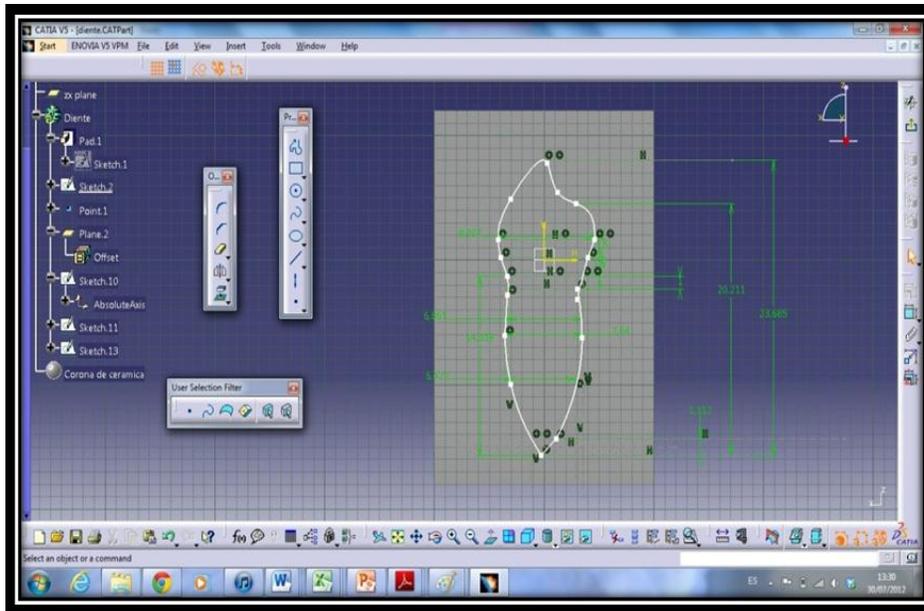
El mecanismo del programa para formar cualquier estructura virtual se basa en la unión de un punto con otro y así sucesivamente hasta formar la estructura deseada (Fig. 18.).

En una de las caras del cubo sólido se comenzó a unir un punto con otro sucesivamente para dibujar las paredes externas del esmalte y la dentina.



*Fig.18. Imagen visión frontal, en proceso de elaboración del premolar mediante software CATIA V5 R18.*

Como se aprecia en las Fig. 19., todavía se observa un cuerpo plano dibujado en el cubo, por lo cual todavía se cataloga como un cuerpo en dos dimensiones (2D).



*Fig.19. Imagen visión lateral, en proceso de elaboración del premolar mediante software CATIA V5 R18.*

### **Conversión de una figura 2D a una 3D**

Una vez realizada la delimitación del diente, se procedió a solicitar al ordenador que elimine o borre los bordes sobrantes por fuera del premolar virtual y que convierta a esta estructura plana en un cuerpo con geometría tridimensional (3D) como se demuestra en las Figuras 20, 21 y 22.

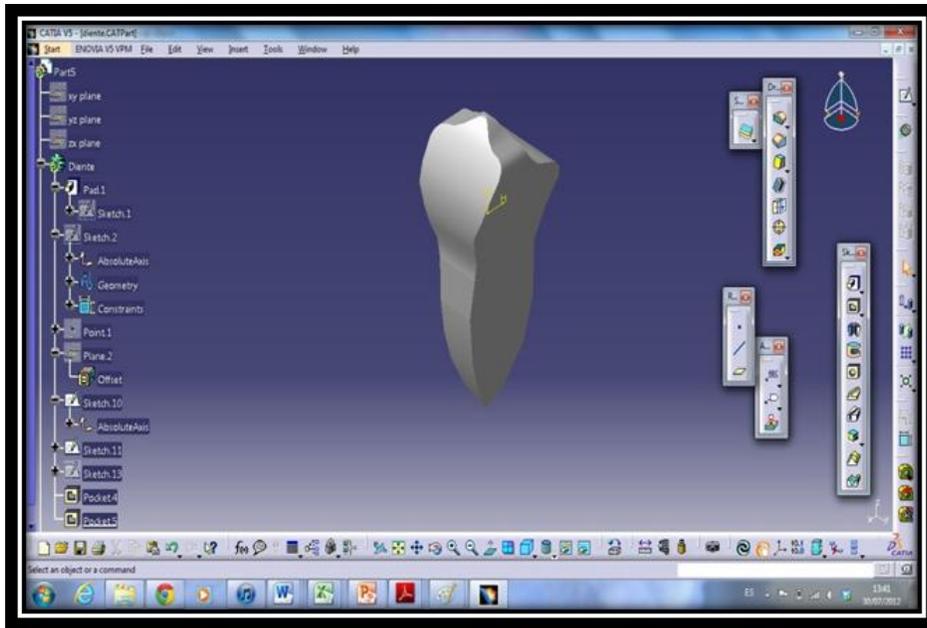


Fig. 20. Vista panorámica del premolar en tercera dimensión

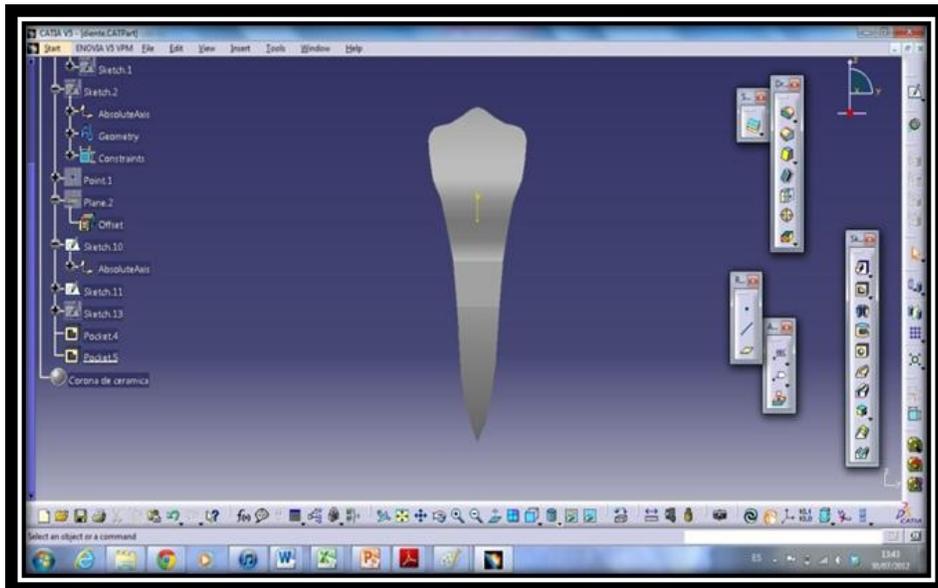
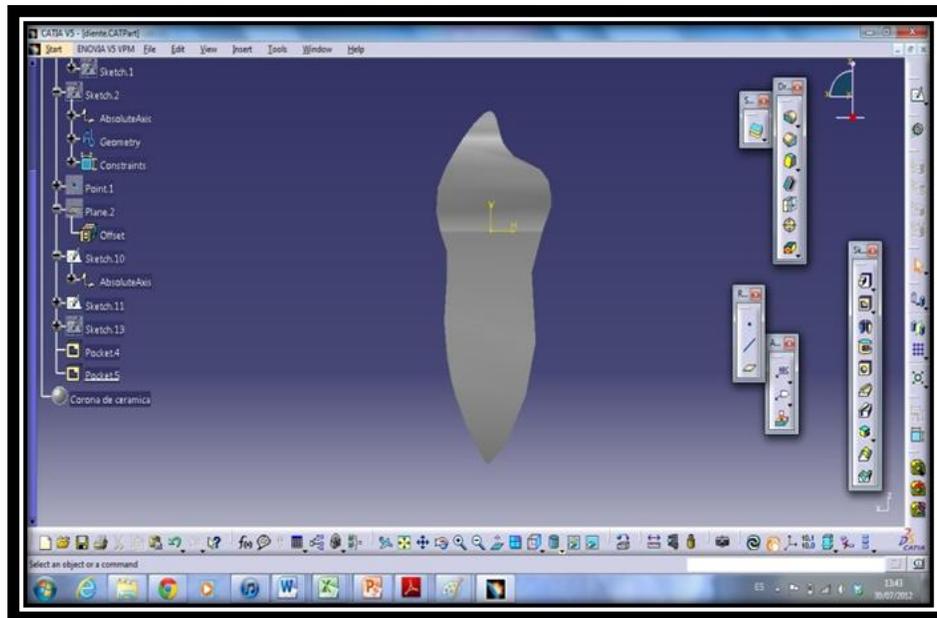


Fig. 21. Vista vestibular del premolar en tercera dimensión



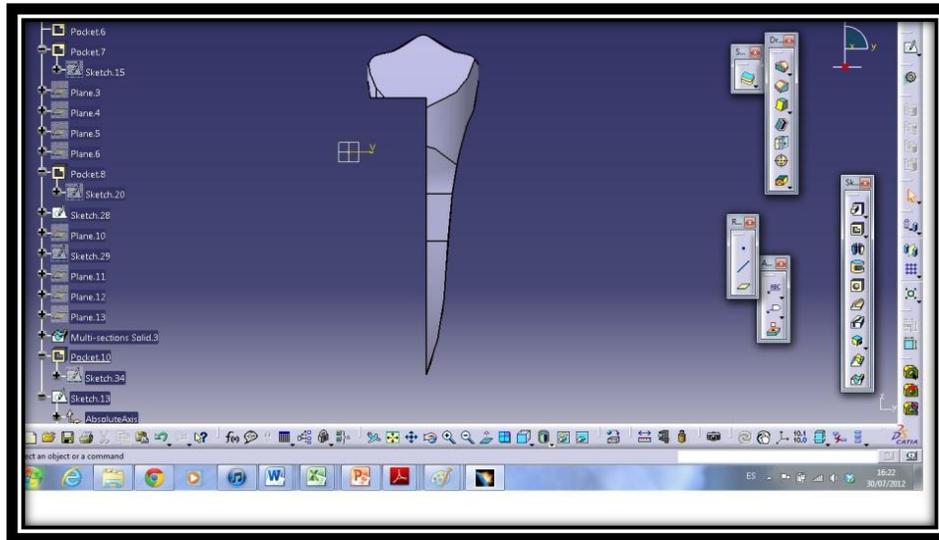
*Fig. 22. Vista lateral del premolar en tercera dimensión*

### **Elaboración de las estructuras internas**

Después de concluir con el bordeado de las estructuras externas del premolar virtual, se continuó con el diseño de las estructuras internas.

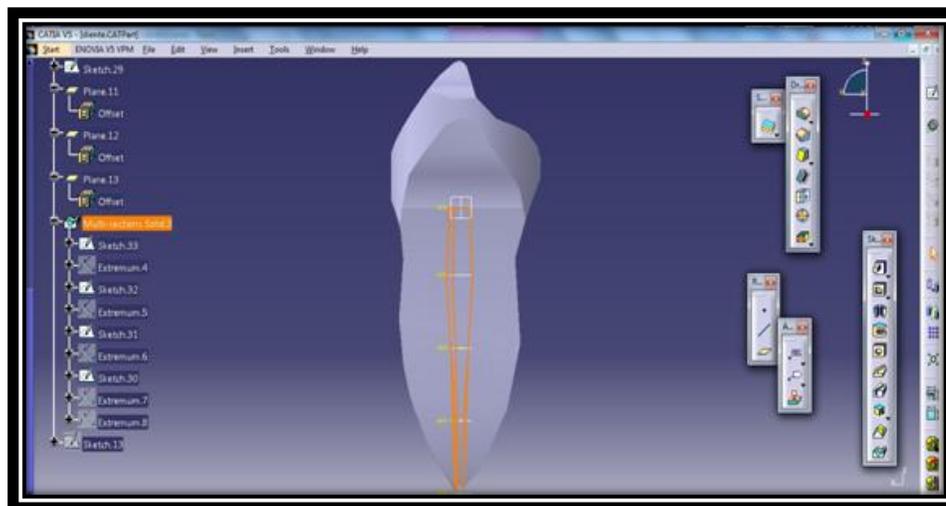
### **Diseño de cavidad pulpar virtual**

Se procedió a seccionar al diente virtual en la mitad, desde la altura donde comienza la cavidad pulpar en la corona hasta el límite apical (Fig. 23.).



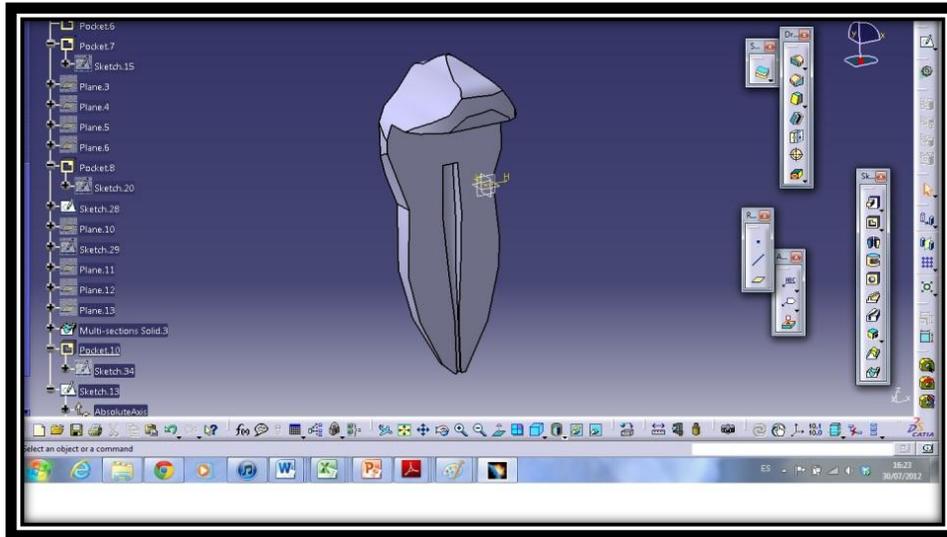
*Fig.23. Vista frontal premolar seccionado*

Una vez seccionado el diente, se dibujó los bordes que conformarán las paredes de la cavidad pulpar (Fig. 24.).



*Fig. 24. Delimitación de las paredes de la cámara pulpar.*

Una vez delimitadas las paredes, se solicitó al ordenador que corte la zona interna para así obtener la zona hueca donde se encuentra el tejido pulpar (Fig. 25.).



*Fig. 25. Vista frontal de la cavidad de cámara pulpar*

### **Diseño de la pulpa virtual**

Se dibujó la pulpa virtual que fue confeccionada a partir del molde de la cavidad pulpar (Fig. 26.), esto quiere decir que la silueta de la pulpa es muy parecida a la de la cámara pulpar, sin embargo las dimensiones de la pulpa son ligeramente menores para que quepa dentro de la cámara pulpar.

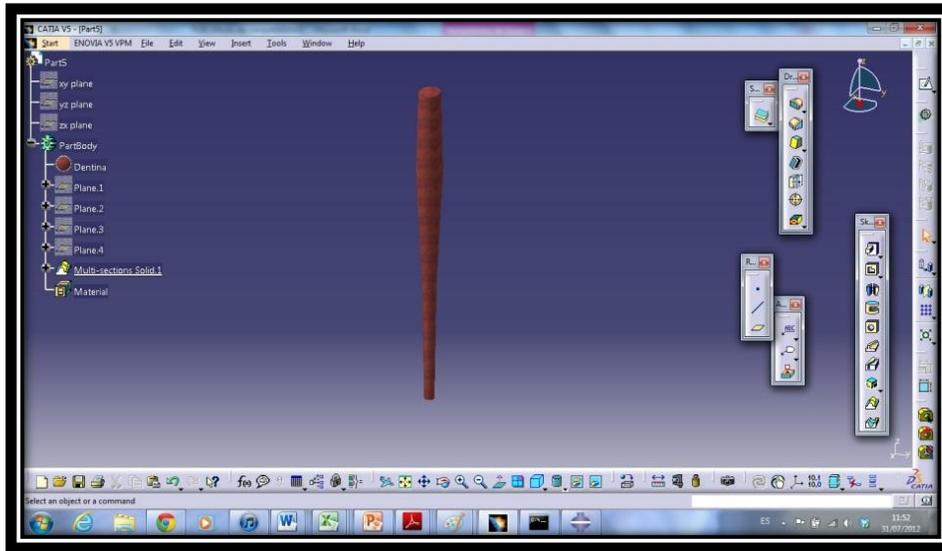


Fig.26. Simulación de tejido pulpar

### Unión de las partes internas en las externas

Mediante un comando del software se permitió unir todas estas estructuras, adaptándolas en su sitio correspondiente. Con este proceso terminado se tiene listo el diente virtual A.

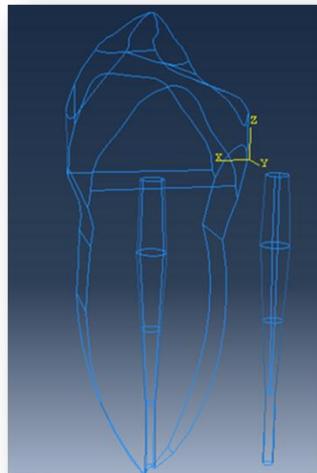


Fig. 27. Unión de las partes para formar diente A

### **7. 3. 2. 3. Diente virtual B**

El diente que se diseñó fue un premolar endodonciado. Las paredes externas tanto del esmalte, como las de la dentina, el cemento y el hueso periodontal se basaron en el premolar del simulacro A, es decir que al diente A se lo tomó como molde para realizar el diente B. Se diseñó por separado las estructuras internas que componen a un diente endodonciado, es decir, una cámara pulpar más ensanchada y cónica, la gutapercha condensada, cemento obturador y resina compuesta. Posteriormente con un comando del software se unieron las partes colocándolas en su lugar correcto, así formando el diente virtual B que se usó en el simulacro B.

Cabe recalcar que para diseñar el diente virtual B, el ingeniero se basó en la estructura externa del premolar virtual A, es decir que al diente A se lo usó como molde para formar el diente B.

### **Diseño de las estructuras postendodoncia**

Una vez realizado el dibujo en 3D del diente en estado natural (premolar virtual A), se prosiguió a diseñar una cavidad pulpar con mayor calibre y mayor conicidad (Fig. 28). Este paso simula el ensanchamiento y conicidad que resultan de la preparación endodóntica en la cavidad pulpar.

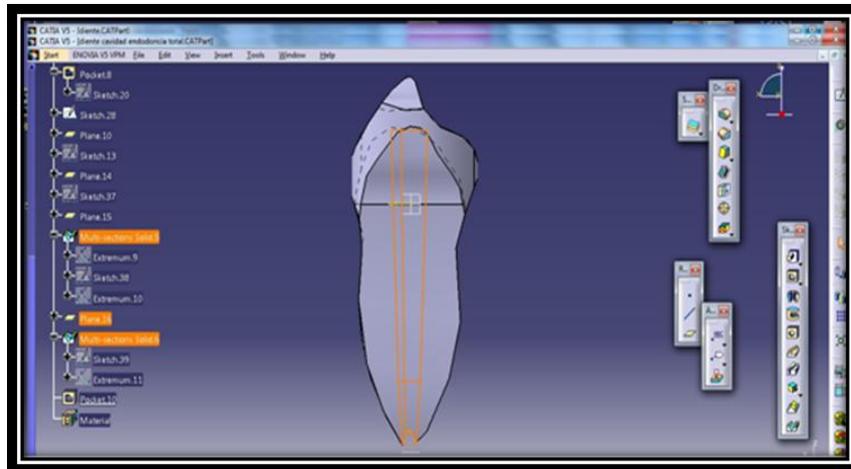


Fig.28. Ensanchamiento y convergencia de las paredes dentinarias

Luego se diseñó por separado a los agentes que son parte de un diente post endodonciado que son los siguientes:

- 14 mm de gutapercha compactada virtual
- Una capa que simula al cemento obturador que cubre la gutapercha.

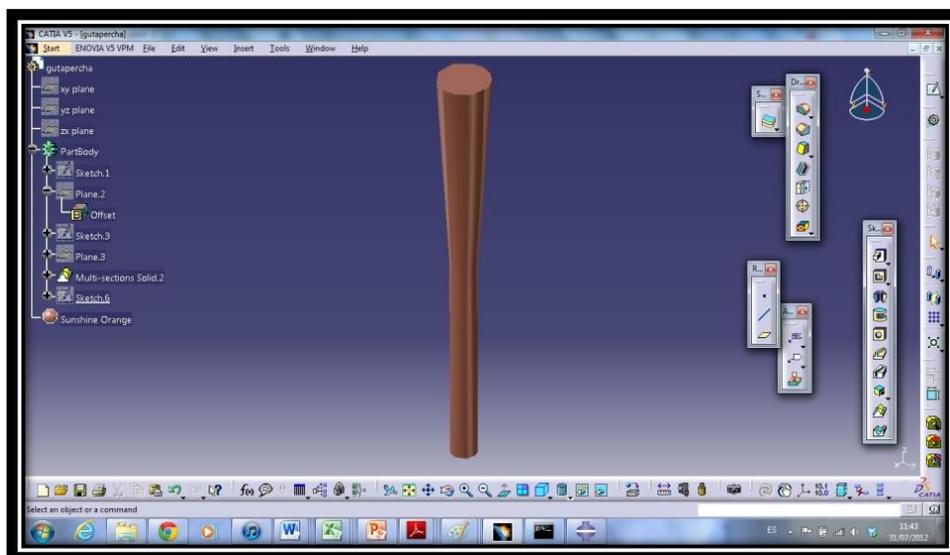
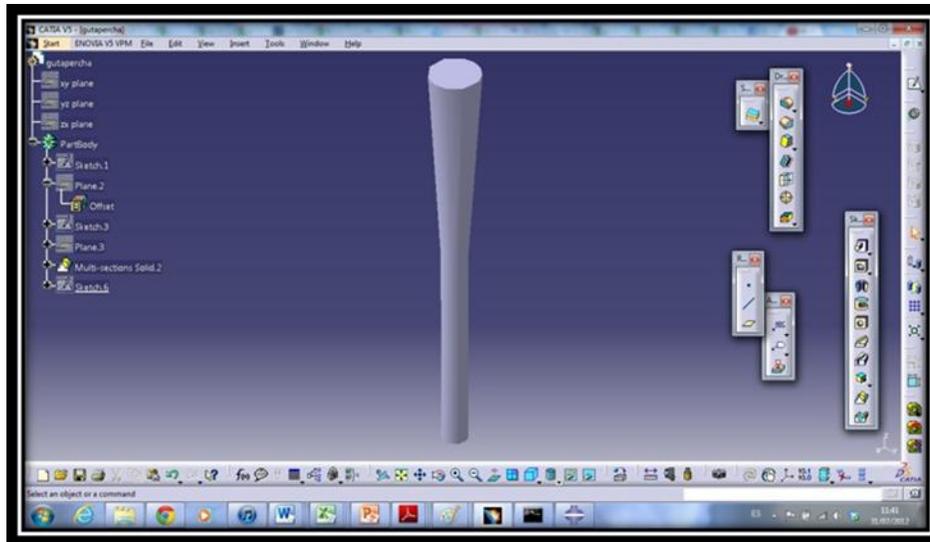


Fig. 29. Simulación de gutapercha condensada, dispuesta como un solo cuerpo dentro del conducto.



*Fig. 30. Simulación de lo que vendría a ser una capa cemento obturador.*

## **Unión de las estructuras**

Por medio de un comando del software se juntaron todas las estructuras individuales para conformar un diente premolar endodonciado y restaurado con resina compuesta.

### **7. 3. 2. 4. Dientes virtuales C y D**

Los siguientes dos diseños representaron a dos dientes premolares con presencia de un poste cónico y cilíndrico respectivamente. Las estructuras tanto externas, como internas de los dos premolares fueron diseñadas en base al diente virtual B, es decir que el diente B fue usado como molde para diseñar los dientes virtuales C y D.

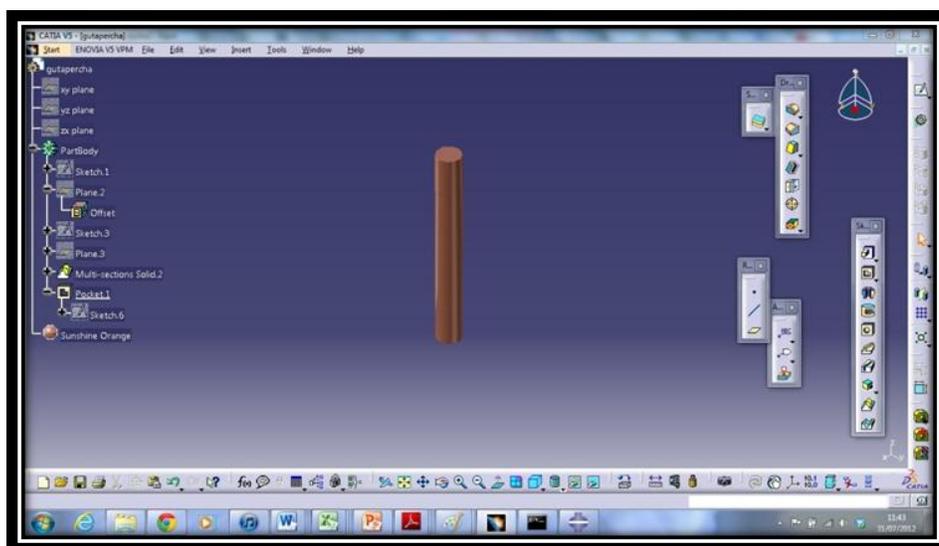
Se diseñaron por separado las estructuras que forman parte de un diente endodonciado con presencia de un endoposte, es decir la gutapercha reducida a 5mm de longitud, poste cónico, poste cilíndrico, cemento de adhesión que cubre el volumen generado entre la superficie del poste y la superficie interna del diente y resina compuesta.

Con el mismo comando del software se procedió a unir y ubicar a las partes en sus sitios correspondientes, con lo que se formaron los dientes virtuales C y D para usarlos en los simulacros C y D respectivamente.

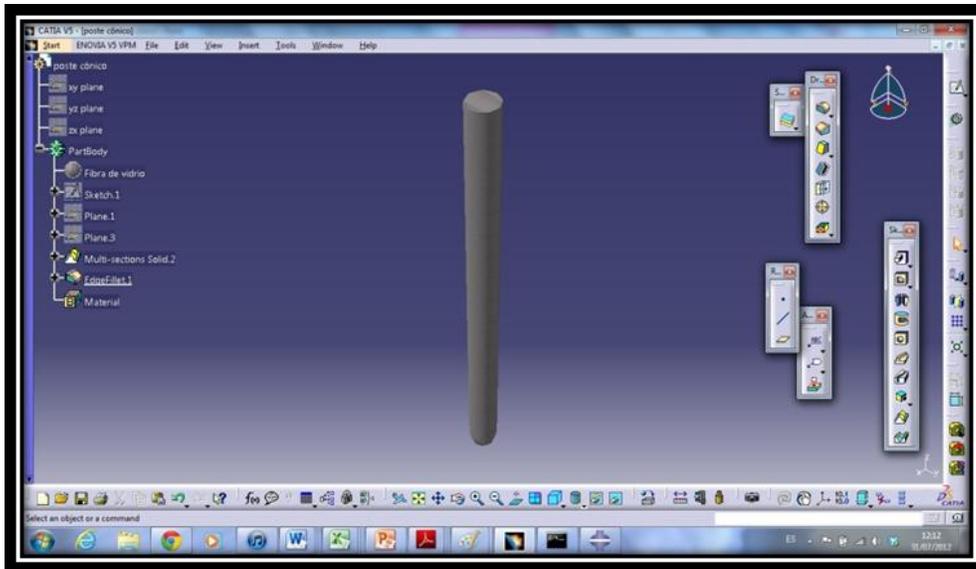
### **Diseño de las estructuras que conforman dos dientes premolares con presencia poste cónico y poste cilíndrico respectivamente**

En base al diente virtual B se diseñaron los dientes virtuales C y D, es decir que se tomó el diente B para posteriormente añadir el poste cónico y cilíndrico respectivamente.

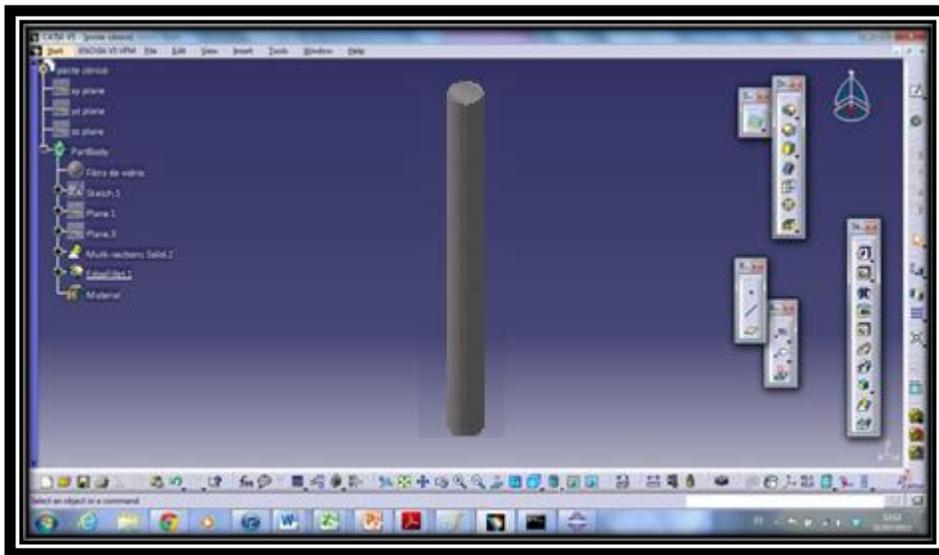
- Se diseñó por separado los siguientes componentes:
  - 5 mm restantes de gutapercha post-desobturación
  - Poste de fibra de vidrio cilíndrico.
  - Poste de fibra de vidrio cónico.
  - Material restaurador que rellena los espacios libres de las coronas clínicas.



*Fig. 32. Simulación de 5 mm de gutapercha condensada restante después de desobturar la parte en donde se coloca el poste.*



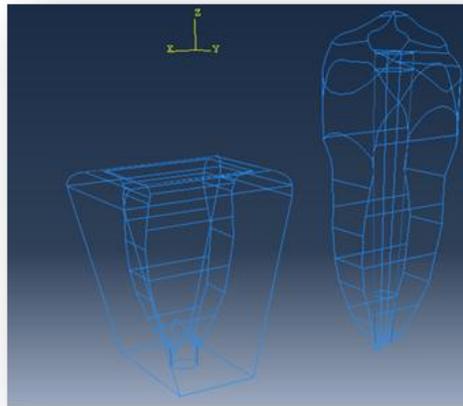
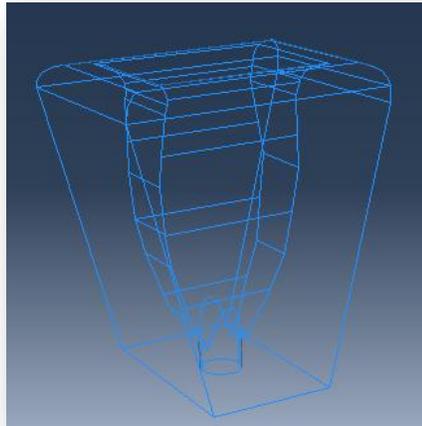
*Fig.33. Simulación de poste de fibra de vidrio cónico*



*Fig. 34. Simulación de poste de fibra de vidrio cilíndrico*

## Diseño de estructuras periodontales virtuales

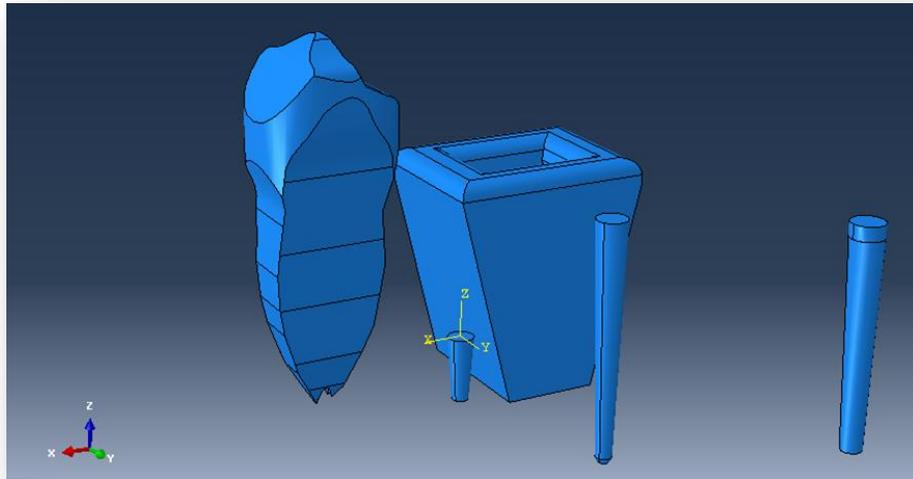
Una vez realizado el diseño total de los dientes en sus cuatro estados se procede a modelar al hueso y ligamento periodontal que es el agente generador de soporte ante las cargas, permitiendo un desplazamiento del diente y a la vez un alivio de tensiones.



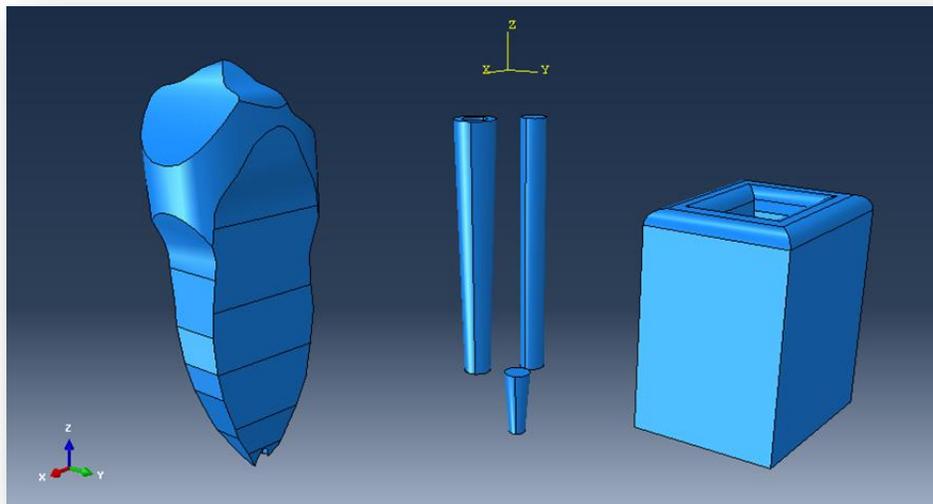
*Fig. 36. A. Hueso periodontal virtual.  
B. Unión de diente con*

## Unión de las partes

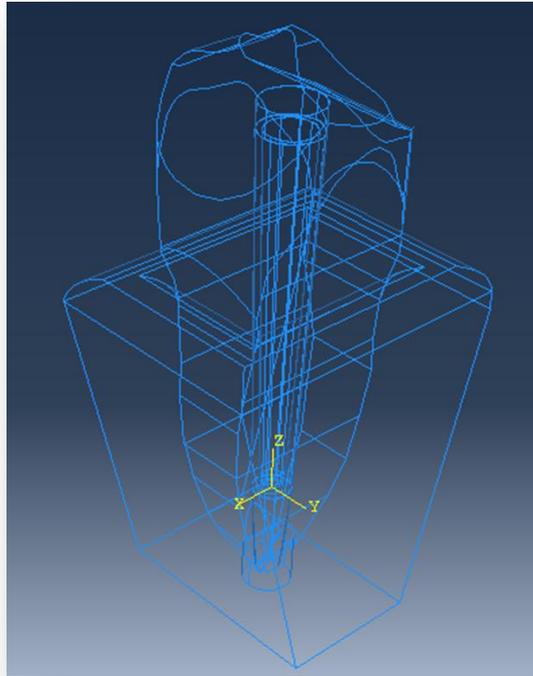
Mediante el mismo comando del software se juntaron todas las estructuras que forman a los dientes virtuales endodonciados, portadores de postes de fibra de vidrio cónico y cilíndrico respectivamente.



*Fig.37 . Unión de las estructuras del diente C*



*Fig. 38. Unión de las estructuras del diente.*



*Fig. 39 . Visión de las estructuras tanto internas, como externas ya colocadas en su lugar correspondiente*

### **7. 3. 3. Procedimiento de Análisis de Elementos Finitos**

#### **a. Pre-procesamiento**

##### **7. 3. 3. 1. Análisis de los materiales**

Realizados los diseños de los cuatro premolares se procedió a definir las características del material del que se compone cada elemento de un diente real.

El programa ABAQUS CAE 6.9 entre una de sus opciones presenta una biblioteca en la cual se encuentran incluidas las propiedades de algunos materiales como son el módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, entre otras. De este modo podemos seleccionar un material y el sistema nos indicará sus propiedades mecánicas y las aplicará al sólido (diente) diseñado. En este caso se tuvo que crear una nueva biblioteca para poder insertar en el programa las propiedades de los tejidos que conforman el diente y los materiales restauradores que se utilizaron en el estudio, ya que no se encontraban incluidas en la biblioteca del programa (Mantilla, 39).

- Los materiales usados tienen las siguientes propiedades:

<b>Material</b>	<b>Propiedades mecánicas</b>	
	E (MPa)	N
Esmalte	841000	33
Dentina	18.6	0.32
Cemento	18.6	0.31
Pulpa	2.7	0.45
Cemento resinoso	8000	0,25
Gutapercha	690	0,45
Poste de fibra de vidrio	11000	0,07
Ligamento periodontal	68900	0,45

(Mantilla, 39)

Tabla. 4. Propiedades mecánicas los materiales usados.

7. 3. 3. 2. Aplicación de las cargas y condiciones de borde

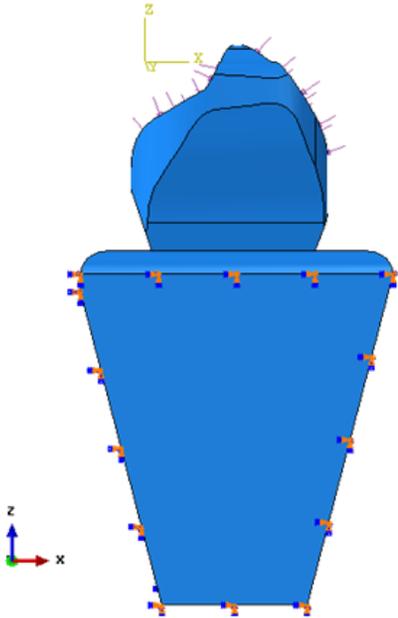


Fig. 37. Aplicación de cargas y de condiciones de borde

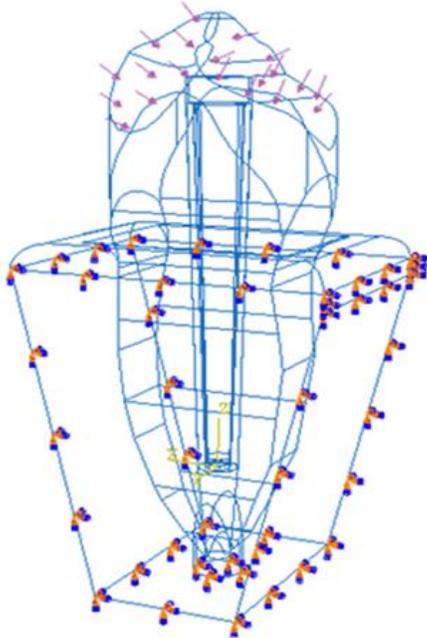
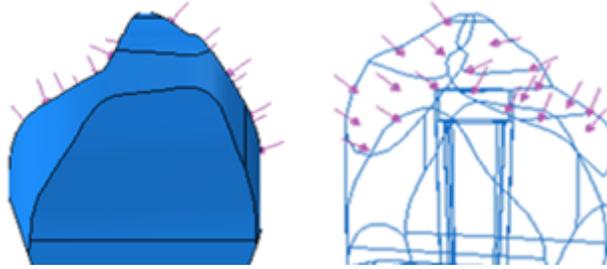


Fig. 38. Aplicación de cargas y de condiciones de borde

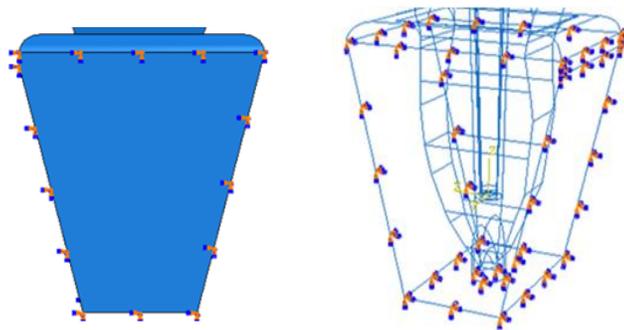
### ***Aplicación de Cargas:***



*Fig. 39. Aplicación de cargas*

La carga fue la máxima que resiste un bicúspide (Mantilla, 40). La carga aplicada fue de 170 N distribuida en la dentadura total, es decir se ha tomado un estimado de 20 N por cada diente para realizar ésta simulación. La carga de 20 N fue distribuida sobre las caras de la superficie intercuspídea de los cuatro premolares, es decir en el área de contacto con el otro diente como se muestra en la siguiente figura:

### ***Aplicación de Condiciones de borde:***



*Fig. 40. Aplicación condiciones de borde*

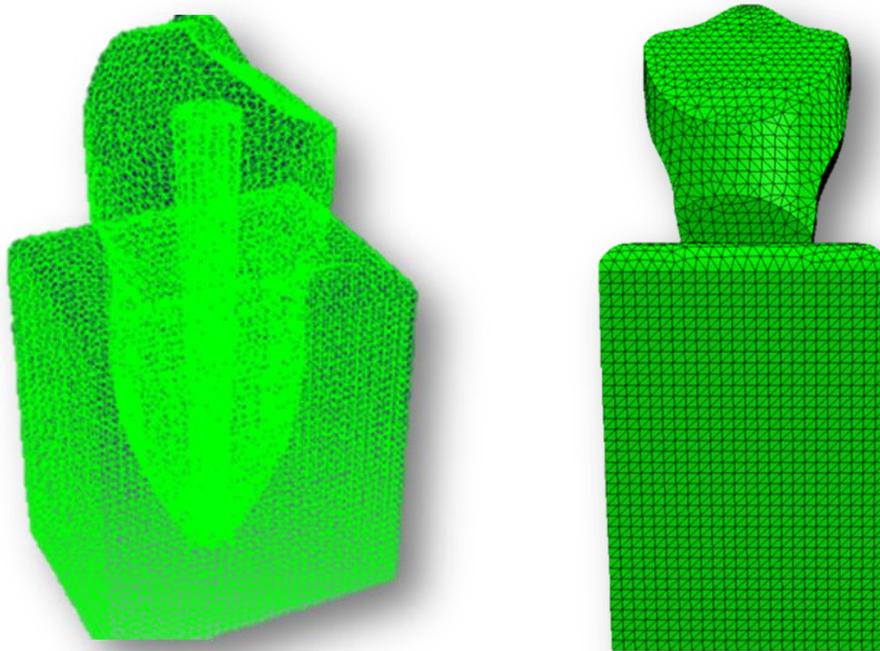
Se coloraron las condiciones en la superficie externa de los bordes a nivel del hueso para mantener a la pieza fija en su posición (Mantilla, 40).

### **7. 3. 3. 3. Enmallado**

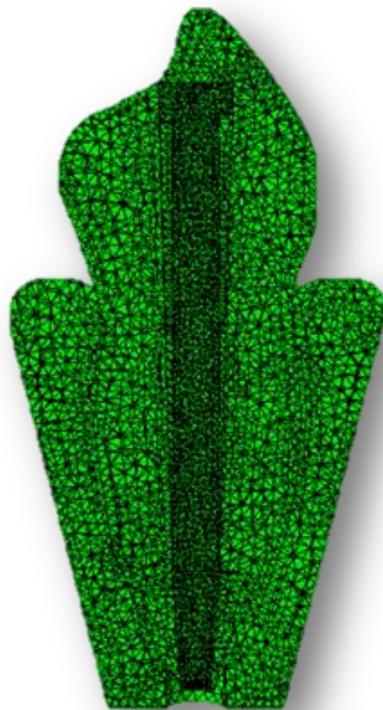
Posteriormente se procedió a generar el mallado. El mallado seleccionado en cada pieza tiene los siguientes tamaños:

En el análisis de elementos finitos la estructura se divide mediante líneas o superficies imaginarias en un número de elementos finitos, los cuales se encuentran conectados entre sí mediante un número determinado de puntos o «nodos». Este complejo sistema de puntos configura una red llamada «malla», la cual está programada para representar al material y las propiedades de su estructura que definen cómo reaccionará ante ciertas fuerzas (Mantilla, 41).

En este estudio se realizó un mallado tetragonal de diez nodos, esto quiere decir que cada elemento finito que conforma la estructura total (el diente premolar) es un triángulo tetraedro que contiene en sus bordes 10 nodos, en otras palabras, el diente está compuesto por millones de elementos finitos tetraedros (cuatro caras) con forma triangular que contiene 10 nodos en sus bordes (ver Figs. 41 y 42).



*Fig. 41. Vista externa del diente  
mallado*



*Fig. 42. Vista interna mediante un  
corte sagital del mallado del  
premolar, del poste de fibra de  
vidrio, 5 mm de gutapercha  
restante y resina compuesta.*

**b. Post-procesamiento**

Una vez obtenido el diseño según las consideraciones predispuestas, se ejecutó el procesamiento de los datos en el programa ABAQUS CAE 6.9 y con esto se realizó el análisis de la distribución de fuerzas en los cuellos de los cuatro premolares virtuales independientemente (Mantilla, 41).

Obteniéndose con este procesos resultados detallados en capítulo correspondiente.

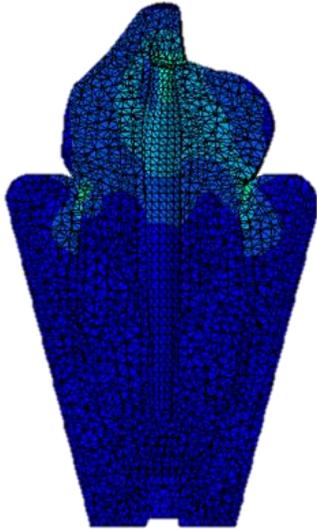
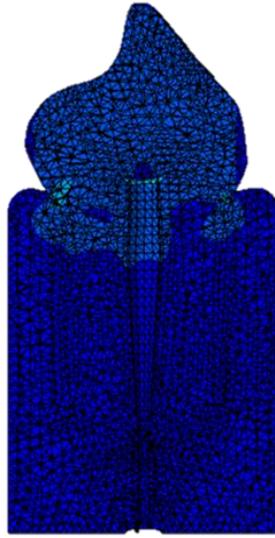
## 8. RESULTADOS

El modelo de simulación proporcionado por el software de elementos finitos empleado en el estudio, permite distinguir dos rangos, medio y alto, de esfuerzos representados por un color cada uno y que están presentes en los cuatro premolares virtuales:

 Las zonas que están pintadas con un color turquesa representan los rangos de esfuerzos medios producidos por las cargas de la mordida.

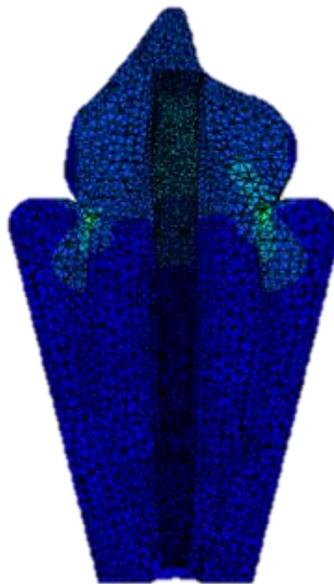
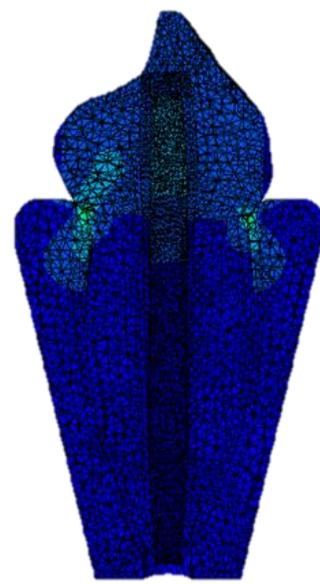
 Las zonas que están pintadas de un color verde claro representan los rangos de esfuerzos altos producidos por las cargas de la mordida.

De esta manera luego de realizar el modelo matemático tridimensional de los cuatro premolares, el primero en su estado natural, el segundo endodonciado, el tercero endodonciado con poste cónico y el cuarto endodonciado con poste cilíndrico, se corrió la simulación en un software de elementos finitos y se obtuvieron los siguientes resultados que fueron analizados a partir de las siguientes imágenes como lo muestran las figuras 43 y 44, y tal que representan al diente A, B, C y D respectivamente:

Diente A.Diente B.

*Fig. 43 .Diente A: premolar inferior virtual sin patología dentaria (grupo control).*

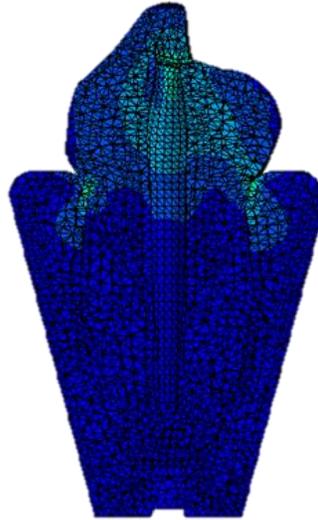
***Diente B:** premolar inferior virtualmente endodonciado.*

Diente C.Diente D.

*Fig. 44. **Diente C:** premolar inferior virtual portador de poste de fibra de vidrio cónico.*

***Diente D:** premolar inferior virtual portador de poste de fibra de vidrio cilíndrico.*

## 8. 1. Resultados de simulación del diente virtual A

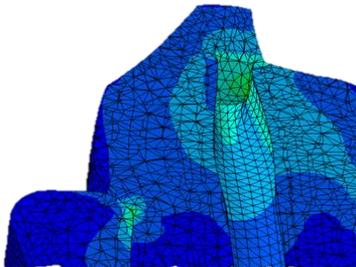


*Fig. 45. Distribución de esfuerzos en diente virtual sano*

La figura 45 muestra la distribución de fuerzas en la zona coronal y cuello de un diente virtual sano. Las fuerzas están representadas por la gama de colores, siendo el turquesa un punto de concentración media mientras que el verde claro representa un punto de mayor concentración.

Se puede notar que el turquesa domina gran parte de la corona, extendiéndose hasta algunas zonas en la raíz tanto en vestibular, como en lingual.

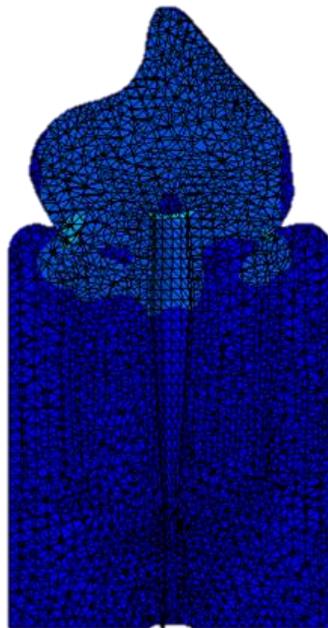
El verde predomina en tres puntos específicos: en las zonas vestibular y lingual del cuello y en el techo cameral.



*Fig. 46. Corte transversal en el cuello del premolar virtual. Muestra de los esfuerzos distribuidos en una amplia zona.*

Las zonas de color verde y turquesa representan la distribución de esfuerzos en este diente virtual A (diente íntegro sin tratamiento endodóncico), lo cual revela la presencia de una considerable cantidad de áreas marcadas. Esto nos indica que existe una distribución homogénea de esfuerzos cuando el diente sin endodoncia es sometido a cargas masticatorias (figura 46.)

## 8. 2. Resultados de simulación del diente virtual B

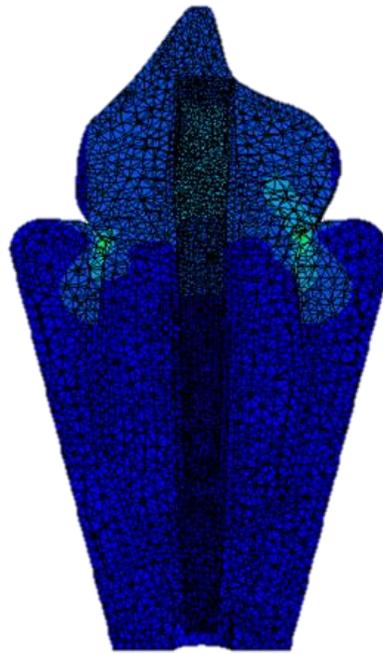


*Fig. 47. Esfuerzos generados bajo aplicación de carga que están concentrados en una sola zona del cuello de premolar endodonciado.*

Como lo muestra la figura 47, en el caso del diente B (diente endodonciado), se puede ver que tras estar sometido a una carga semejante a la del diente sano, se evidencia una concentración de esfuerzo únicamente a nivel de su tercio cervical, específicamente en la zona lingual y en la luz del conducto donde comienza la obturación con gutapercha.

En este caso solamente se distinguen zonas turquesas, mas no se observan zonas verdes. No existe una distribución homogénea de fuerzas.

### 8. 3. Resultados de simulación del diente virtual C

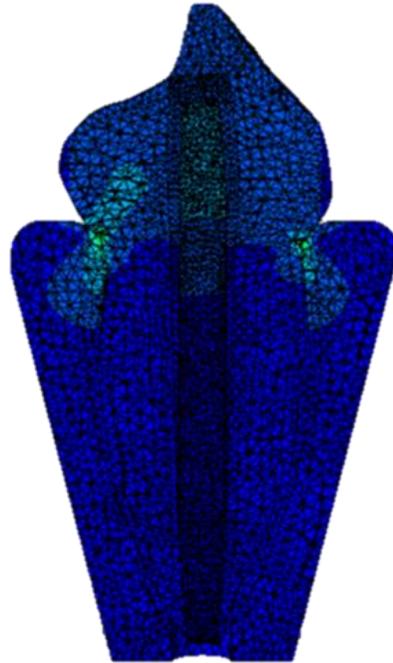


*Fig. 48. Esfuerzos generados en cuello del premolar bajo endodoncia con poste cónico de fibra de vidrio.*

Como lo muestra la figura 48, en el caso del diente C (endodonciado y colocado un poste cónico), se distinguen claramente los dos colores a nivel de cuello. Existe una concentración de fuerzas significativa a nivel cervical.

En la parte lingual el color turquesa se extiende tanto hacia la corona, como hacia la raíz, sin embargo, en vestibular solamente se extiende hacia la raíz y no hacia la corona. Las zonas turquesas en lingual son más amplias que en vestibular. En este diente existe cierta homogeneidad en cuanto a la distribución de fuerzas.

#### 8. 4. Resultados de simulación del diente virtual D



*Fig. 49. Esfuerzos generados en cuello del premolar bajo endodoncia con poste cilíndrico de fibra de vidrio.*

Al observar la figura 49, en el diente D (endodonciado donde fue colocado un poste cilíndrico) se evidencian los dos colores a nivel del cuello, esto quiere decir que hay una concentración de fuerzas significativa a nivel cervical.

Se observa que en lingual, el color turquesa, se extiende hacia las zonas tanto de la corona, como de la raíz, sin embargo, en vestibular el turquesa solamente se extiende hacia la raíz. La zona turquesa en lingual es más amplia que en vestibular. En este diente existe cierta homogeneidad en cuanto a la distribución de fuerzas.

## 9. DISCUSIÓN

Es interesante saber que contamos con nuevas formas de ver y analizar al mundo abarcando técnicas tecnológicas que nos permite enfocarnos en estudios que van más allá de lo convencional y nos permite examinar y medir situaciones que a simple vista no se ven con exactitud, es por eso que esta investigación, la cual se inclina al lado virtual y que explora características mediante métodos matemáticos exactos, nos permite obtener resultados lo más parecidos a la realidad.

La tecnología nos abre puertas a un mundo diferente, ofreciéndonos nuevas opciones y tendencias, como es la reciente y original aplicación de elementos finitos en el área odontológica. Este método de estudio se está empleando en la investigación de la interacción mecánica que hay entre el diente y sus estructuras circundantes, también se usa para el análisis de la interacción mecánica que hay entre el diente y los materiales que se emplean para los distintos tratamientos odontológicos (Mantilla, 36 y 37).

El análisis mediante el método de elementos finitos, si bien consigue reproducir de forma virtual lo que acontecería con un diente natural, también representa un tipo de análisis hasta cierto punto donde mediante tonos de colores presentes en diferentes áreas de las estructuras dentales, como en este caso, representan concentraciones de fuerzas que podrían presentarse en estas áreas de un diente verdadero.

Al ser un método computarizado también es un método matemático, es decir que al trabajar por este medio, se obtienen resultados exactos y objetivos, por lo tanto no se necesitan varios sujetos de estudio como en otros casos, si no que con una simulación basta para tener los resultados requeridos.

Saldarriaga (2009), menciona que los estudios mediante software de elementos finitos poseen validez científica por conseguir reproducir de forma virtual condiciones habituales.

En este estudio fueron empleados premolares unirradiculares por ser considerados dientes con características anatómicas de relativa facilidad para ser reproducidas en gráficos computarizados. Al poseer un solo conducto amplio, de formato cónico, con paredes relativamente rectas, con una cavidad pulpar amplia y una corona clínica casi cúbica, facilita tanto la medición de las paredes radiculares internas (mediante radiografías), como de las externas (mediante un calibrador). También facilita la instrumentación del diente así como su obturación, hechos fácilmente reproducibles en el programa computacional, para después plasmarlo en un dibujo tridimensional virtual.

En la práctica diaria, el empleo de pernos intraconducto se presenta como una alternativa adecuada considerando la necesidad de actuar como un soporte de la estructura protésica coronaria a ser colocada tras un tratamiento endodóncico más no para distribuir fuerzas masticatorias.

Un diente sano tiene la capacidad de soportar grandes esfuerzos, lo cual se logra debido a la cierta elasticidad de la dentina por encontrarse hidratada y por no presentar desgaste de sus tejidos. Sin embargo, un diente endodonciado, por carecer de una fuente de irrigación, por presentar adelgazamiento de sus paredes radiculares y coronales, por la ausencia de su techo cameral e incluso por presentar una destrucción de la corona clínica ya sea por caries o fracturas, pierde elasticidad lo que causa una mayor fragilidad. Todas estas características dificultan la existencia de una adecuada distribución de fuerzas y hacen de un diente endodonciado, una estructura en donde las cargas masticatorias se concentran en un solo punto, lo cual lo convierte en un diente con alto riesgo de fractura.

Soares (2002), menciona que: la relación del adelgazamiento de su paredes, a causa de la instrumentación y de cierta manera de la desobturación, con el resultado del aumento de fragilidad en el diente endodonciado, viene a ser un tema que se frecuenta y preocupa en la práctica diaria. La incidencia de perforaciones laterales en las raíces, por desgaste excesivo, son los aspectos negativos más mencionados y muestran la necesidad de conocer en detalle el instrumento, su técnica de uso, sus limitaciones y la anatomía del conducto, aspectos que ayudarán a correr menos el riesgo de fracasar.

Alam (2004), por su parte dice que en cuanto a la desobturación del conducto radicular, se han investigado diferentes métodos para remover gutapercha y preparar espacios para pernos, así como el efecto que tienen sobre el sellado apical; sin embargo, ningún método descrito hasta el momento, ha sido consistentemente superior a otro.

También menciona; en relación a la técnica de desobturación propiamente dicha, cuando se utiliza instrumental rotatorio, se debe tener cuidado de remover solamente gutapercha y no tejido dentinario de manera rutinaria. La preparación inmediata ha sido comparada con la preparación tardía del espacio para perno y tampoco ningún método ha demostrado gran superioridad.

Alam (2004); alega que la familiaridad del operador con el conducto disminuye el riesgo de perforación ya que conoce la longitud del diente, en función del remanente de gutapercha que va a dejar, el ángulo de inclinación y la morfología de la cavidad endodóntica; además, si el espacio para perno lo realiza el endodoncista, el tiempo operatorio para la reconstrucción del diente por parte del protesista disminuye.

Según Pilo y Tamse, la forma más segura de remoción de gutapercha es la utilización de instrumentos calientes, pero el método más común y rápido es el que se realiza con instrumentos rotatorios. Este procedimiento ha sido tradicionalmente hecho con fresas Gates Glidden, Peeso, instrumentos o fresas

de los distintos sistemas de pernos que existen. De ellos, las fresas Gates Glidden, se consideran un método seguro y predecible para la preparación del espacio para perno ya que son inactivas en su punta.

Alam (2004): en el diámetro de la preparación, el aumento del diámetro del perno produce un mínimo o tal vez ningún aumento en la retención del mismo, sin embargo, si un aumento significativo en las fuerzas internas del diente. Por lo tanto, aumentar el diámetro del perno, no es el método preferido para aumentar su retención.

Así, si se extrapola nuestros resultados obtenidos de forma virtual a circunstancias in vivo, podríamos afirmar que un diente endodonciado es un diente altamente susceptible a sufrir daños de forma irreversible frente a cargas masticatorias.

Lo antes mencionado nos hace pensar en la necesidad de colocar un poste en dientes sometidos a endodoncia, lo que permitirá que las fuerzas no se concentren en un solo punto, si no, que sean distribuidas en un mayor número de áreas. Como se esperaba en este análisis, los resultados de los ensayos entre los cuatro casos de premolares, demuestran que al adicionar un endoposte, sí se genera una mejor distribución de tensiones en la zona del cuello del diente. Sin embargo, para Nageswar (2010), un diente endodonciado no siempre necesita poste, ya que la necesidad de poste se encuentra en dependencia de:

No se debe colocar poste cuando hay:

- Tipo de lesión coronal leve a moderada.
- Dientes intactos.
- Suficiente estructura dental remanente.
- Suficiente estructura coronal remanente.
- En diente con corona clínica muy corta
- Demanda funcional estable.
- Que no sea un pilar para DPF/DPR.

- Lesión coronal leve a moderada.
- Demanda funcional estable.
- Que no sea un pilar para DPF/DPR.

El presente estudio sugiere que sería mejor la colocación de postes para una mejor distribución de fuerzas. Esto se evidencia en el diente B, el cual representa un diente endodonciado, donde la concentración de fuerzas se da en un solo punto a nivel cervical. En contraste con los dientes C y D a los cuales se les colocó un poste, donde la distribución de fuerzas es mejor y no se concentran en un solo punto, sino que se disipan en varias zonas no sólo del cuello, sino también en la corona y raíz.

En este estudio fueron únicamente considerados pernos prefabricados del tipo de fibra de vidrio, ya que este tipo de postes, según reportado en la literatura, presenta las mejores características de compatibilidad con la estructura dental, siendo los más utilizados en la actualidad en la clínica. Lo que varía es la forma del perno a ser colocado, así en el diente virtual C fue colocado un perno cilíndrico y en el diente virtual D un cónico.

Al considerar los resultados encontrados en cuanto a tonos de colores y distribución de los mismos, los dientes (C y D), mostraron cierta semejanza en cuanto a la distribución de fuerzas en los dos casos. Los dos dientes presentan el color turquesa en la parte lingual que se extiende tanto hacia la corona, como hacia la raíz, sin embargo, en vestibular solamente se extiende hacia la raíz y no hacia la corona. Las zonas turquesas en lingual son más amplias que en vestibular. Sin embargo la diseminación de la carga en el diente virtual D es ligeramente mayor que el C.

Si bien los resultados muestran que los dos postes ayudarían a distribuir de manera más uniforme los esfuerzos, con esto se confirma que los elementos intrarradiculares tienden a concentrar los esfuerzos dentro de su propia masa y de esta manera comprometen menos a la dentina.

Es necesario, continuar con trabajos similares a éste, ya que el análisis mediante elementos finitos permite abrir nuevos horizontes en cuanto a la proyección virtual de nuevos dispositivos, tratamientos e incluso materiales sin correr el riesgo que su uso innovador en clínica podría implicar.

Los riesgos significativos cuando se trata de probar materiales o mecanismos e incluso sistemas in vivo, cada vez son más exigentes debido a los riesgos significativos y ciertas exigencias éticas, esto nos deja a expensas de la ejecución de procesos terapéuticos en dientes endodonciados. Sin embargo, un análisis virtual del tipo aquí presentado, pese a sus limitaciones, logra reproducir condiciones y circunstancias con bastante precisión por lo que su empleo debería ser considerado en especial en estudios relacionados a ortodoncia, implantes y su repercusión en hueso alveolar, etc., es decir en especialidades odontológicas donde se busca un equilibrio mecánico.

## 10. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las limitaciones de este estudio se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- **Distribución de las fuerzas del diente A (normal):**
  - Al encontrar una gran zona coloreada que se extiende tanto en la corona, como en el cuello y algo de raíz, esto determina que existe una distribución homogénea y uniforme de esfuerzos cuando el diente sin endodoncia es sometido a cargas masticatorias.
  
- **Distribución de las fuerzas del diente B( endodonciado):**
  - Se determinó que la zona cervical, específicamente en la zona lingual y en la luz del conducto donde comienza la obturación con gutapercha de un diente endodonciado, son los lugares de este diente que sufren mayor concentración de estrés ante fuerzas masticatorias.
  - Al presentar una zona coloreada muy pequeña, quiere decir que es aquí en donde se están concentrando las fuerzas, es decir que este diente consta de menor capacidad de distribución de fuerzas. Con esto, se afirma que no existe una distribución homogénea de esfuerzos al estar sometido a cargas masticatorias
  - Entre los tres dientes endodonciados (B, C y D) este diente B fue el que sufrió mayores concentraciones de esfuerzos en un solo punto de la zona cervical.
  
- **Distribución de las fuerzas del diente C y D: endodonciado-colocado poste cilíndrico y endodonciado-colocado poste cilíndrico respectivamente:**

- Se evidencia que: en la parte lingual el color turquesa se extiende tanto hacia la corona, como hacia la raíz, sin embargo, en vestibular solamente se extiende hacia la raíz y no hacia la corona. Las zonas turquesas en lingual son más amplias que en vestibular.
  - En este diente existe cierta homogeneidad en cuanto a la distribución de fuerzas.
  - Los dientes C y D (dientes que recibieron postes) presentan una mayor distribución de las tensiones en el tercio medio, también distribuyéndose algo tanto hacia la corona, como hacia la raíz.
- 
- Entre los tres dientes virtuales (B, C y D), los cuales representaron a dientes endodonciados, el que mejor se desempeñó en cuanto a la distribución de fuerzas fue el diente D con poste cilíndrico.
  
  - Entre los tres dientes virtuales (B, C y D), los cuales representaron a dientes endodonciados, el que peor se desempeñó en cuanto a la distribución de fuerzas fue el diente B, el mismo que no recibió ningún poste.
  
  - Se determinó que la zona cervical de un diente endodonciado es el sitio que soporta más estrés ante fuerzas masticatorias.

## 11. RECOMENDACIONES

- Se requieren realizar más estudios para obtener mejores resultados debido a la escasa literatura en cuanto a este tema.
- Para futuros estudios en relación a este tema, se sugiere añadir otros tipos de materiales de postes para compararlos y comprobar cuál es el más conveniente.
- Incluir a MEF en la realización de estudios en distintas ramas odontológicas tales como ortodoncia, rehabilitación, implantología, etc., para que de esta manera exista una mayor base científica a cerca de distintos procedimientos de la práctica odontológica.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alam Pares, Andrés Eloy. "Consideraciones Endodónticas en las Preparaciones de Conductos para la Colocación de Pernos Intrarradiculares." Carlos Bóveda; Venezuela (julio 2004).
- Barguil, Julia. "Distribución de los esfuerzos en tres tipos de elementos intrarradiculares con diferentes longitudes". Revista Facultad Odontología Universidad Antioquia, 19 (2), (Febrero,2008): 24-37.
- Barrancos, Julio. "Operatoria dental: integración clínica." 4° edición. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2006.
- Bessone, Laura, y Cols. "Evaluación de Diferentes Sistemas de Postes: Método de Elementos Finitos." Odontostomat. 4(3), (2010): 229-236.
- Calabria, Hugo. "Lesiones no cariosas del cuello dentario: patología moderna, antigua controversia." Odontoestomatología vol.11 no.12 Montevideo mayo 2009.
- Canalda, Carlos. "Endodoncia: Técnicas clínicas y bases científicas." 2° edición. Barcelona, España: Editorial Elsevier, 2006.
- Carranza, Fermina et al. "Periodontología clínica." 10° edición. México D.F.: McGrawHill, 2010.
- Celigüeta, Juan Tomás. (2008). "Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural". Tesis de maestría no publicada, Campus Tecnológico Universidad de Navarra, España.
- Cendoya P, Hernández J, Dufeu E. "Computer analysis of non-cavity cervical lesions in an upper premolar", 2007.
- Chica, Edwin, y Cols. "Prótesis parcial fija: análisis biomecánico sobre distribución de esfuerzos entre tres alternativas de retención". Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia 21(2), (Febrero, 2010): 150-158.
- Cohen, Stephen. "Vías De La Pulpa." 10° edición. Barcelona, España: Editorial Elsevier, 2008.
- Cunha, Roseanne, y Cols. "Pernos intrarradiculares de fibra de vidrio: caso clínico". Acta Odontológica Venezolana 4(46), (Octubre, 2007).
- Fornóns, José María, y Cols. "El Método de los elementos finitos en la ingeniería de estructuras". Barcelona: Editorial Marcombo, 1982.
- Frías, Eduardo. (2004). "Aportaciones al estudio de las maquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos". Tesis doctoral no publicada, Departamento de Ingeniería Eléctrica. UPC.
- Fuentes, Ma. "Propiedades mecánicas de la dentina humana." Avances en Odontoestomatología 2 (20), (Octubre, 2003): 79-83.

- Garg, Nisha. "Review of Endodontics and Operative Dentistry." 1° edición. New Deli: Editorial Jaippee Brothers Medical Publishers, 2008.
- Gómez, Adres; Chica, Edwin y Latorre, Federico. "Análisis de la distribución de esfuerzos en diferentes elementos de retención intrarradicular prefabricados". Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia. 20 (1), (Septiembre, 2008): 31-42.
- Gutmann, James. "Dumsha ,Thom. Lovdahl , Paul. Solución de Problemas En Endodoncia." 4° edición. Madrid: Editorial Elsevier, 2007.
- Lanza A, Aversa R, Rengo S, Apicella D, Apicella A. "3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor", 2004.
- Lopera P, Latorre F, Villaraga JA. "Evaluación no lineal de dos postes diferentes". Rev Fac Odontol Univ Antioq 2012; 23(2): 240-255.
- Mantilla, Felicita, y Cols. "Distribución de tensiones mediante el análisis de elementos finitos en dientes restaurados directa e indirectamente después de un tratamiento endodóntico". Kiru 1(5), (2008): 36-51.
- Nageswar, R. "Endodoncia Avanzada". 1° edición. Nueva Deli: Editorial Amolca, 2010.
- Navarro, Carlos. "Cirugía oral". Madrid: Arán, 2008.
- Nelson, S.J. "Wheeler. Anatomía, Fisiología y Oclusión Dental." 9° edición. Barcelona: Editorial Elsevier, 2010.
- Nieto, Sacramento. "La Biblia de la Física y Química". Barcelona: Editorial Lexus, 2003.
- Palma, Ascensión. "Técnicas de ayuda odontológica y estomatológica." 1° edición. Madrid: Editorial Thomson, 2007.
- Pérez, Enrique, y Cols. "Triada para la limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares." Acta Odontológica Venezolana 2(41), (Julio, 2002).
- Pezzotti, Santiago. (2008). "Introducción a la Teoría de Elementos Finitos." Tesis de maestría no publicada, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Biancheti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. Biomaterials 2002, 23: 2667-2682.
- Pilo R, Tamse A. Residual thickness in mandibular premolars prepared with Gates Glidden and ParaPost drills. Journal of Prosthetic Dentistry 2000;83:617-23.
- Raspall, Guillermo. "Cirugía oral e implantología". 2° edición. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2006.
- Saldarriaga EA, Uribe CI, Chica E, Latorre F. "Distribución de los esfuerzos en tramos protésicos fijos de tres unidades con elementos intrarradicales colados

y prefabricados: análisis biomecánico utilizando un modelo de elementos finitos". Rev Fac Odontol Univ Antioq 2009; 21(1): 33-41.

Soares, Iلسon José. "Endodoncia: Técnica y fundamentos." 1° edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2002.

Tobon, Diego. "Manual Básico de Endodoncia". 1° edición. Medellín, Colombia: Editorial Corporación Para Investigaciones Biológicas, 2003.

Torabinejad, M. "Endodoncia. Principios y práctica." 4° edición. Barcelona: Editorial Elsevier, 2010.

Velayo, José Luis. "Anatomía de la cabeza: para odontólogos." 4° edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2007.

Vidal, Jara. "Estudio in vitro de la resistencia a la tracción de postes de fibra de vidrio cementados con cuatro agentes cementantes." AVANCES EN ODONTOESTOMATOLOGÍA 5(26), (2010): 255-262.

Weine, Franklin S. TRATAMIENTO ENDODÓNCICO. 5° edición. Harcourt Brace. Madrid. 1997

"Carga". En el Diccionario de la lengua española. Fuente electrónica [<http://lema.rae.es/drae/>]. Madrid, España: Real Academia Española.

"Esfuerzo". En el Diccionario de la lengua española. Fuente electrónica [<http://lema.rae.es/drae/>]. Madrid, España: Real Academia Española.

"Fuerza". En el Diccionario de la lengua española. Fuente electrónica [<http://lema.rae.es/drae/>]. Madrid, España: Real Academia Española.

"Extrusión". En el Diccionario de la lengua española. Fuente electrónica [<http://lema.rae.es/drae/>]. Madrid, España: Real Academia Española.

"Módulo". En el Diccionario de la lengua española. Fuente electrónica [<http://lema.rae.es/drae/>]. Madrid, España: Real Academia Española.

"Elasticidad". En el Diccionario de la lengua española. Fuente electrónica [<http://lema.rae.es/drae/>]. Madrid, España: Real Academia Española.

"Resistencia". En el Diccionario de la lengua española. Fuente electrónica [<http://lema.rae.es/drae/>]. Madrid, España: Real Academia Española.

