

# Estudio de una patología dental por medio de elementos finitos\*

## Studying a dental pathology by finite elements

Fernando Mejía Umaña<sup>1</sup>, Martha Lucía Calle Ujueta<sup>2</sup>

### RESUMEN

Las lesiones abfractales o abfracciones son lesiones no cariosas de las estructuras dentarias en las que se ha identificado el factor biomecánico como la causa más probable de su ocurrencia. Aunque pueden presentarse en cualquier diente, se presentan con mayor frecuencia en los premolares de personas mayores de 35 años. El artículo presenta algunos de los resultados obtenidos por el grupo de investigación multidisciplinario de la Universidad Nacional de Colombia para el estudio de la "Estructura y propiedades de los materiales dentales". Luego de una introducción en la que se describen las características y la posibles causas de la lesión, se presentan los resultados de varios ejercicios de modelamiento por elementos finitos, en dos y tres dimensiones, de un primer premolar sometido en unos casos a cargas normales de masticación y en otros a cargas anormales generadas por problemas de oclusión.

Entre los hallazgos más importantes de estos modelamientos, que fueron acompañados de observaciones clínicas, están: la identificación de zonas de alta concentración de esfuerzos en las regiones donde frecuentemente se presentan las lesiones, asociadas a cargas cuya línea de acción no pasa por la parte central de la sección del diente a nivel cervical; una relación directa entre la orientación de las facetas de desgaste y la dirección de las fuerzas que producen alta concentración de esfuerzos; y la presencia de altos esfuerzos de compresión en la región cervical.

**PALABRAS CLAVE:** abfracciones, elementos finitos, estructuras dentales, modelamiento.

### ABSTRACT

Abfractives lesions or abfractions are non-cavity lesions of dental structures in which a biomechanical factor has been identified as being the most probable cause for it occurring. Even though such lesion can be presented in any tooth, it occurs more frequently in people aged over 35. This article presents some results obtained by the Universidad Nacional de Colombia's multidisciplinary research group for studying "dental material's structure and properties". The introduction describes such lesion's characteristics and possible causes. The results of various modelling exercises using finite elements (in two and three dimensions) are presented regarding a first premolar tooth subjected to normal mastication load and also to abnormal loads produced by occlusion problems. The most important findings (accompanied by clinical observations) were that: areas of high concentration of forces were identified where lesions were frequently presented, associated with loads whose line of action did not pass through the central part of the section of tooth at cervical level; a direct relationship between facets of wear being orientated with the direction of forces produced by a high concentration of force; and the presence of high compression forces in the cervical region.

**KEY WORDS:** abfraction, finite element, dental structure, modelling.

Recibido: Noviembre 24 de 2004

Aceptado: Febrero 4 de 2005

## I. Introducción

Los dientes humanos se caracterizan por formarse en dos etapas en la vida; una, algunos meses después del nacimiento, mediante formación de estructuras dentarias

pequeñas, proporcionadas al tamaño y función del organismo de un niño y su alimentación, son los dientes temporales también llamados de leche. Posteriormente, con el crecimiento se forma y erupciona una nueva dentición de mayor número, tamaño y estructura, que son

<sup>1</sup> Profesor titular Universidad Nacional de Colombia, Esp. Diseño y análisis numérico, U. Politécnica de Cataluña, fmejiau@unal.edu.co

<sup>2</sup> Profesora asociada al Departamento de Salud Oral, Universidad Nacional de Colombia.

\* Maestría en Ingeniería - Materiales y Procesos de Manufactura., Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá.

los dientes permanentes, los cuales permanecen, o deben permanecer, a lo largo de toda la vida del ser humano, pues no tienen reemplazo ni parcial ni totalmente, como sí ocurre en otras especies en el planeta, cuyos dientes crecen durante toda la vida en los roedores o en los tiburones, que se reemplazan a medida que se van perdiendo. Esta circunstancia da origen a la odontología, que pretende conservar los dientes y sus estructuras desde diferentes enfoques, incluso reemplazándolos en parte o totalmente utilizando materiales y técnicas desarrollados para tal fin.

Partiendo del hecho de que toda pérdida de tejido dental es irreversible, preocupa mucho esta cuando ocurre, y puede darse por caries, una patología asociada a microorganismos y la dieta cuando es rica en carbohidratos refinados, frecuente en la vida moderna, o por desgaste abrasivo, erosivo o biomecánico que son las lesiones abfractionales o abfracciones, que son el tema del presente artículo.

Según Spranger (1995), estas lesiones fueron descritas por primera vez por Zsigmondy en 1894, como defectos angulares presentes en los dientes anteriores. Posteriormente Euler, en 1951, las denominó "defectos angulares", producidos por una caries cervical crónica y progresiva.<sup>1</sup> Lee y Eakle en 1984 las denominaron lesiones idiopáticas, resultantes de la pérdida patológica, física o fisicoquímica de los tejidos duros del diente, por la flexión y la fatiga del esmalte, cemento y dentina, por debajo de un punto de carga.<sup>1,2</sup>

Esta patología se viene estudiando como tal desde 1991, cuando Grippo la designó como abfracción o abfractura, tomado del latín *ab*, en inglés *away*, "lejos de", y *fractio* "rompimiento", para designar la pérdida patológica de los tejidos duros de la estructura dental causada por fuerzas de carga biomecánica, las cuales se deben a la flexión y, finalmente, a la fatiga del esmalte y la dentina en un sitio alejado del punto de carga. A partir de este momento, surgieron varias teorías tratando de explicarla, como la flexión del diente con el fulcro a nivel cervical o del cuello de los dientes. Grippo reconoció la necesidad de crear una categoría adicional de lesiones cervicales no cariosas para diferenciarlas de lesiones causadas por erosión o abrasión.<sup>3</sup>

El origen de las lesiones de las estructuras dentales a nivel cervical es multifactorial<sup>4,5,6</sup>. Sin embargo, investigaciones recientes plantean que la relación entre el desarrollo de las lesiones cervicales no cariosas y la aplicación de cargas indica que el factor oclusal juega un papel más importante en la iniciación y progresión de este tipo de lesiones.<sup>1,4,5</sup>

Kuroe y Col, en análisis fotoelástico de modelos, encontraron que, al cargar verticalmente la cúspide vestibular o externa en dientes con soporte periodontal normal, se producían altas concentraciones de esfuerzos en el punto de aplicación, se transmitían a través del esmalte a la

región cervical del mismo lado y se concentraban allí. Esfuerzos menores se presentaron en la región cervical lingual o interna.<sup>6</sup>

Spranger, en una revisión de la literatura concerniente a la génesis de las lesiones angulares de los dientes, encontró datos que sugieren que los esfuerzos oclusales son un componente crítico en la etiología u origen de estas lesiones, sin descartar la vulnerabilidad del área cervical a la actividad química y física; describió los defectos cervicales de los tejidos duros del diente como un evento multifactorial, con la siguiente biodinámica:

1. La capa de esmalte se adelgaza hacia la región cervical. Los cristales de esmalte cervical son cortos y quebradizos y se fracturan debido a la dinámica de deformación por esfuerzos, los cuales inducen de forma alterna expansión, compresión y flexión.
2. El diente, en particular su capa de esmalte, está sujeto a constante flexión y a cargas cortantes de la oclusión. La deformación flexural (expansiva y compresiva) ocurre en la región cervical del diente especialmente bajo condiciones parafuncionales. Esto causa la ruptura del tejido duro, además facilita la permeabilidad, la cual permite la entrada de elementos líticos hasta la dentina.
3. La dentina expuesta resultante está predispuesta a la erosión causada por la abrasión del cepillado y de agentes cariogénicos.<sup>5</sup>

De igual manera, concluye que, cuando el anclaje periodontal elástico del diente es excedido y debido a que la corona es virtualmente imposible de deformar, esta deformación solo puede tomar lugar en la región cervical. También reporta que un estudio publicado por Graehn y Col. concluye que parece existir una relación causal entre las lesiones en forma de cuña, la desarmonía oclusal, la parafunción y la tensión psicológica fuerte de los pacientes.

Körber, en 1962, describió y calculó la deformación elástica de dientes humanos. Fuerzas aplicadas horizontalmente generaban alta flexión (tensión y compresión) en la región cervical; fuerzas aplicadas verticalmente resultaban en compresión.<sup>5</sup>

Lee y Eakle<sup>6</sup> notaron una relación anatómica entre las facetas de desgaste oclusal y las lesiones cervicales en el mismo diente. Ott y Proschel encontraron una relación significativa entre los contactos oclusales y los defectos en forma de cuña en los dientes posteriores.

Estudios previos<sup>30-31</sup> apoyan la teoría oclusal propuesta por Lee y Eakle,<sup>6,32</sup> en la cual exponen que el factor primario en la etiología de las lesiones abfractionales puede ser los esfuerzos tensiles creados durante la masticación y el bruxismo, los cuales causarían flejamiento dental produciendo ruptura de las uniones químicas, lo cual generaría

microfracturas en el área de esfuerzos más grandes, el área cervical. Esta teoría se fundamenta en el hecho de que la estructura dental, particularmente el esmalte, aunque compresivamente fuerte, es relativamente débil bajo tensión. El debilitamiento de la sustancia dental la hace susceptible al trauma, la abrasión y la disolución química, resultando en el desarrollo de las típicas lesiones en forma de cuña.<sup>32</sup>



**Fig. 1.** Primer premolar inferior comprometido con una abfracción.

## II. Materiales y métodos

Desde 1998 un grupo de profesores de Ingeniería Mecánica y Odontología iniciaron el estudio del comportamiento mecánico de los tejidos dentarios a través del análisis de lesiones abfractales. Estas lesiones conllevan a la pérdida de tejidos duros del diente pero no están asociadas a caries sino a traumas. A pesar de su etiología multifactorial, y aunque en alguna época se asoció a prácticas traumáticas de cepillado, se ha planteado como causa necesaria para el desarrollo de esta enfermedad la presencia de cargas atípicas sobre los dientes.

El presente trabajo recopila tres etapas de modelamiento de un primer premolar inferior, considerado uno de los dientes que presenta con mayor frecuencia las abfracciones. Las dos primeras etapas corresponden a modelos bidimensionales en los que reprodujo la geometría tamaño natural del diente en mención y se asignó a cada uno de sus tejidos las propiedades que se han estado reportando en la literatura odontológica.

El presente trabajo recopila tres etapas de modelamiento de un primer premolar inferior, considerado uno de los dientes que presenta con mayor frecuencia las abfracciones. Las dos primeras etapas corresponden a modelos bidimensionales en los que reprodujo la geometría tamaño natural del diente en mención y se asignó a cada uno de sus tejidos las propiedades que se han estado reportando en la literatura odontológica.

Aunque la observación de la estructura del esmalte y la dentina indica que son estructuras con propiedades anisotrópicas por la presencia de prismas y túbulos con orientaciones preferentes, la mayoría de los autores concuerdan en modelar estos materiales con propiedades isotrópicas. Casi toda la experimentación reportada para la determinación de las propiedades mecánicas se ha hecho a nivel macroscópico, en muestras con distribuciones aleatorias de los diferentes componentes con propiedades direccionales, por lo que los valores reportados deben ser interpretados como un valor promedio.

Por tal motivo, se ha considerado que para encontrar el comportamiento global del diente ante las cargas es suficiente emplear un modelo isotrópico. Por otra parte, el comportamiento del ligamento periodontal, que une el diente al hueso, no corresponde exactamente a ninguno de los modelos desarrollados para materiales de ingenie-

ría, aunque su comportamiento tiene mucha similitud con el de un modelo viscoelástico.

Como se ha elegido un modelo estático en el cual no se tiene en cuenta la velocidad de aplicación de carga, es más apropiado emplear para el modelamiento del ligamento periodontal un modelo bilineal elástico, con un módulo elástico inicial relativamente bajo, seguido de uno muy alto que limite las deformaciones después de un determinado nivel de carga.

El modelamiento del comportamiento bilineal del ligamento periodontal, se llevó a cabo utilizando una combinación de elementos elásticos lineales (*truss-link*) con valores de rigidez uno alto y otro bajo, y elementos *gap* colocados en serie con el elemento rígido que permitían que este empezara a actuar después de un valor de deformación preestablecido. Las características de movimiento del diente ante las cargas con esta estrategia de modelamiento, tuvo una gran coincidencia con las observaciones clínicas. Sin embargo, la distribución global de esfuerzos no se vio muy afectada con respecto a un modelo con empotramiento rígido al hueso.

Las primeras fases del modelamiento se basaron en un análisis bidimensional de esfuerzo plano.

### A. Modelamiento 1

El primer trabajo formal de modelamiento se llevó a cabo con el trabajo final de la especialización de rehabilitación oral titulado: "Análisis de lesiones abfractales por medio de elementos finitos"<sup>7</sup>, en el que se eligió como objeto de modelamiento un primer premolar por la mayor frecuencia con que presenta abfracciones. Esta escogencia es corroborada por Telles y colaboradores (2000)<sup>8</sup> quienes en su estudio determinaron que los dientes más afectados son, en su orden: primer molar superior, primer molar inferior, primer premolar inferior, primer premolar superior. Este estudio fue realizado en gente joven en un país con una mayor cultura en salud oral. En nuestro país es muy frecuente que adultos jóvenes hayan perdido los primeros molares por caries dental, lo que hace que en nuestro medio las mayores frecuencias de abfracción se presenten en los primeros premolares.

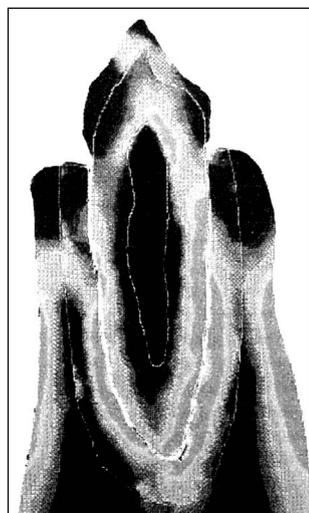
Para el estudio se tomaron dientes humanos extraídos cuya morfología estuviera dentro de los parámetros típicos normales reportados en la literatura, y se les realizó cortes longitudinales que permitieran ver y medir la forma, límites y espesores de los diferentes tejidos. Las láminas obtenidas fueron escaneadas y las imágenes se importaron desde Autocad® con el fin de generar un modelo CAD compatible con el programa Cosmos® para su análisis por elementos finitos. De esta manera, se obtuvo una geometría muy cercana a la real, a diferencia de la usada en la mayoría de los modelos encontrados en la literatura, que modelan el diente como un cuerpo

macizo de formas simplificadas. De esta manera, fue posible obtener un modelo bastante fiel que reproduce el esmalte, la dentina y el espacio de la cámara pulpar, este último de gran influencia en el desempeño del modelo.

Se hizo un análisis bidimensional isotrópico diferenciando esmalte, dentina y pulpa, el ligamento periodontal y una parte de la mandíbula utilizando características de hueso alveolar, sin hacer diferencia entre el hueso cortical y el esponjoso.

Las principales características de este primer modelo fueron:

- Modelamiento riguroso de la geometría natural de un primer premolar promedio.
- Modelamiento del ligamento periodontal que registra desplazamientos similares a los que se observan en clínica en un diente sano desde el punto de vista periodontal.
- Modelamiento de la cámara pulpar, reconociendo que es un espacio que tendría que ver con el redireccionamiento de los esfuerzos, como realmente ocurre.



**Fig. 2.** Modelo bidimensional de un primer premolar

En la malla de elementos finitos se utilizaron elementos triangulares de dos grados de libertad por nodo (TRIANG), basados en desplazamientos y utilizando la hipótesis de esfuerzo plano.

El modelo se dividió en siete regiones:

- Región 1: cámara pulpar
- Región 2: dentina
- Región 3: hueso mandibular
- Región 4: esmalte
- Región 5: hueso alveolar
- Regiones 6 y 7: elementos TRUSS 2D y GAP del ligamento periodontal, respectivamente.

Para modelar el ligamento periodontal se utilizará una combinación de elementos lineales de carga axial (truss 2D), con dos nodos y dos grados de libertad por nodo, y elementos tipo GAP para simular un comportamiento bilineal. Su orientación se definió de manera que simularan las fibras que conforman el ligamento, con un comportamiento inicialmente elástico y posteriormente semi-rígido. La definición de los valores de rigidez para los elementos TRUSS y de holgura para los GAP se hizo por ensayo y error hasta obtener desplazamientos similares a los observados en la práctica clínica.

Los valores que definen el comportamiento del material en este tipo de modelo son el módulo elástico y la relación de Poisson. Como en la literatura se encontró una gran dispersión en estos datos, se optó por utilizar la moda entre los datos recolectados, es decir, el dato que más se repitió en la revisión bibliográfica. Los resultados se presentan en la Tabla No. 1.

Con base en los datos presentados por Hicks y Col. (1983), el modelo se sometió a una carga de 190N sobre la vertiente vestibular de la cúspide vestibular del diente, con valores horizontales y verticales en proporción de 60 y 40% respectivamente. Inicialmente, se aplicó de manera puntual, pero luego, observando que este tipo de lesiones vienen acompañadas de facetas de desgaste en el punto de aplicación de la carga, se optó por distribuirla sobre un área del orden de magnitud de la de las facetas.

Posteriormente se modeló el diente primero con una abfracción y luego con la abfracción y una marcada disminución de los tejidos de soporte, para determinar la influencia de la pérdida de soporte en la distribución de esfuerzos.

**Tabla 1.** Propiedades de los constituyentes dentales

Tejido	Módulo de elasticidad	Relación de Poisson
Esmalte	84.000 MPa	0.33
Dentina	18.000 MPa	0.31
Pulpa	2.07 MPa	0.45
Ligamento Periodontal	0.07 MPa	0.45
Hueso alveolar	10.000 MPa	0.33

Teniendo en cuenta los contactos presentes en la masticación y la relación interoclusal, se optó por descomponer en diferentes proporciones: 50-50, 60-40 y 70-30. En todos los casos se presentó concentración de esfuerzos de tipo compresivo en la región cervical del mismo lado de aplicación de la carga.

En la cámara pulpar se identificó la acumulación de esfuerzos en la periferia, en especial en la zona del techo, lo que podría explicar la mayor formación de dentina que conduce a la gran reducción de la cámara e inclusive al cierre en dientes que sufren trauma oclusal crónico.

Algunos autores plantean que cuando existen cargas laterales que producen flexión, los esfuerzos de tensión a nivel cervical rompen las uniones químicas de las estructuras cristalinas del esmalte y de la dentina, permitiendo que moléculas de tamaño reducido puedan entrar a las microfracturas y evitar la restitución de las uniones químicas. Sin embargo, el modelo mostró que los esfuerzos de mayor magnitud son de compresión, aspecto que le da cuerpo a la teoría de aparición de las abfracciones, por la presencia de esfuerzos compresivos perpendiculares a los

prismas del esmalte, los que generan una mayor deformación en este tejido, alterando las uniones y permitiendo su desmoronamiento. Según esto, se puede concluir que la abfracción presenta una falla de tipo compresivo del tejido adamantino.

Con la pérdida de altura ósea se reportó un aumento en los esfuerzos y los desplazamientos.

A partir de los resultados de este primer modelo, tomó mayor fuerza como causa del desarrollo de la lesión la presencia de los esfuerzos de compresión y no la de esfuerzos de tensión, como afirman algunos autores. También se encontró que cuanto mayor sea la pérdida de soporte periodontal, mayor y más apical será la concentración de esfuerzos en la zona.

## B. Modelamiento 2

Se programó una segunda fase de estudio con el fin de refinar el modelo y profundizar en el conocimiento de los tejidos dentarios, razón por la cual se programó el trabajo titulado *Análisis del comportamiento mecánico y de la estructura del esmalte y la dentina en lesiones abfractales por medio de elementos finitos y microscopía electrónica*.<sup>9</sup>

En este segundo trabajo se realizó una depuración del modelo, con la que se confirmó el hallazgo del trabajo anterior respecto al papel de los esfuerzos de compresión en el desarrollo de las lesiones, se estudió el comportamiento de los esfuerzos con el aumento del tamaño de la lesión, y el comportamiento de la restauración con respecto al módulo elástico del material restaurador.

Con las propiedades reportadas en la Tabla 1, exceptuando el valor del módulo elástico para el ligamento periodontal, que se tomó igual a 200 MPa como resultado de una nueva valoración de los datos reportados en la bibliografía, se realizaron seis nuevos casos de carga en dientes sanos, con lesiones de diferentes tamaños y en dientes restaurados. También se variaron los puntos de aplicación de la carga y se reprodujo el equivalente a una faceta de desgaste y sus diferentes inclinaciones.

Por otra parte, se realizó una observación preliminar de los tejidos dentarios cercanos a la lesión, utilizando microscopía electrónica de barrido, para comprobar la orientación y condiciones de los túbulos dentinales y los prismas del esmalte, y en busca de variaciones estructurales que pudieran justificar una disminución de las propiedades mecánicas. Sin embargo, hasta el momento las observaciones no han permitido identificar ningún cambio que permita sacar conclusiones al respecto.

Mediante la variación sistemática de la dirección de las fuerzas en los puntos de contacto del diente con sus antagonistas, se concluyó que para fuerzas oclusivas normales la línea de acción de su resultante, a nivel cervical, debe pasar por la cámara pulpar. Aquellas cuya línea de

acción se desvía hacia la zona vestibular, y en menor proporción las que se desvían hacia la lingual, son las que producen mayor concentración de esfuerzos en las zonas donde normalmente se encuentran las abfracciones. Estos resultados llevaron a concluir sobre la necesidad imperiosa de un alivio oclusal para evitar la evolución de la lesión.

La restauración de las lesiones en esta fase del estudio se modeló cambiando, en las zonas restauradas, el módulo elástico de la dentina y del esmalte retirados, por el módulo elástico del material restaurador. Se encontró una menor concentración de esfuerzos para materiales con menor módulo elástico, pero no se encontró ninguna explicación al frecuente fracaso (desprendimiento) de estas restauraciones.

Se concluyó que existe una alta probabilidad de ocurrencia de lesiones abfractales cuando la línea de acción de las fuerzas dentales pasa por la región cervical.



**Fig. 3.** Concentración de esfuerzos (Von Mises) en la zona de abfracción, vistos en un modelo bidimensional

Con este trabajo se confirmó que los esfuerzos compresivos acumulados en la zona cervical son la posible causa de generación de la lesión. También se observó que al producir una abfracción en el modelo se incrementaban los esfuerzos de la zona cervical y lo hacían en mayor proporción con el aumento de tamaño de la lesión. Luego, al obturar la lesión en el modelo, se notó una disminución en los esfuerzos, siendo esta más marcada para bajos módulos elásticos del material restaurador. Se notó una concentración de esfuerzos en la zona gingival de la restauración, lo que hace pensar en estos como posibles causas del frecuente fracaso de las restauraciones.

Se observaron, mediante microscopía electrónica de barrido SEM, dientes afectados por abfracciones, extraídos por razones terapéuticas, en los que se identificó tanto en la superficie de las lesiones como en sus alrededores un deterioro importante en la organización del esmalte y la dentina, lo que lleva a pensar que no son superficies aptas para la adhesión ni para soportar y retener una restauración, lo que podría explicar también el desalojo que sufren muchas de sus restauraciones. Por tal motivo, se

sugiere en la restauración el decorticado suave de la zona para descubrir tejidos sanos y aliviar la carga oclusal sobre el diente afectado.

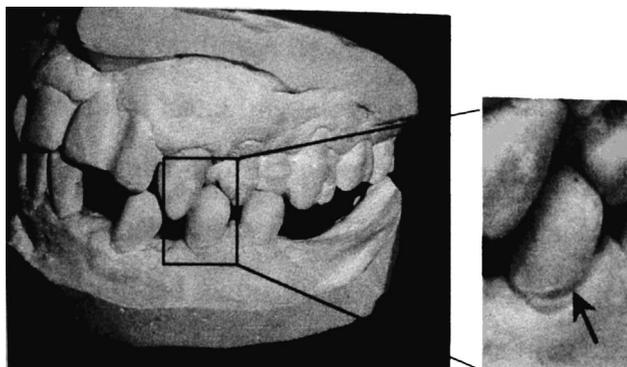
### C. Modelamiento 3

Se desarrolló una tercera etapa en elementos finitos muy interesante, donde se formularon dos trabajos de grado interdependientes en los cuales, previa observación de pacientes con abfracciones, se obtendrían datos para implementar un modelamiento tridimensional de un primer premolar inferior.

En un trabajo titulado *Análisis del comportamiento mecánico de un primer premolar inferior por medio de un modelo tridimensional de elementos finitos y su influencia en la aparición de lesiones abfractales*<sup>10</sup>, realizado por dos estudiantes de odontología, se hizo un análisis clínico de varios pacientes con abfracciones con el fin de recolectar información para suministrar datos reales al modelo tridimensional de elementos finitos en el trabajo de grado *"Análisis tridimensional por elementos finitos de un primer premolar"*<sup>11</sup>, elaborado por un estudiante de ingeniería mecánica.

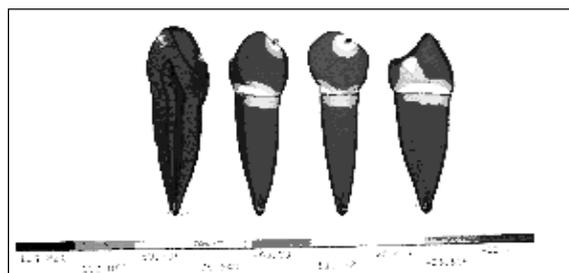
En este, con el fin de validar los resultados obtenidos en las primeras fases del estudio con el modelo bidimensional, y gracias a la mayor capacidad del nuevo software disponible en la universidad, se inició el análisis tridimensional del mismo premolar elegido para el anterior modelo. Un primer factor que debe ser resaltado, es el alto grado de dificultad del modelamiento del diente por la gran variedad de superficies que conforman el sólido y por la dificultad de modelamiento de la región del esmalte, en especial en la zona de unión con la dentina, donde su espesor es muy pequeño.

El modelamiento se basó en la definición de dos volúmenes, uno para la dentina y otro para el esmalte, que posteriormente fueron enmallados y unidos con elementos de un tamaño tal que dieran una buena aproximación en los cálculos y que el costo computacional no fuera muy alto.



**Fig. 4.** Modelo en yeso de los dientes con lesiones y facetas de desgaste de uno de los pacientes estudiados.

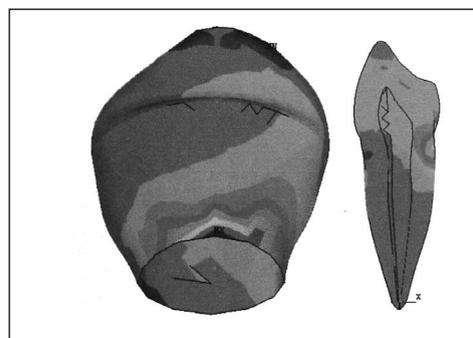
En el modelo tridimensional, en lugar de utilizar la combinación de elementos tipo Cercha y gap para el modelamiento del ligamento periodontal, difícil de implementar y poco confiable, se emplearon elementos tetraédricos de material con comportamiento no lineal y utilizando análisis incremental con la ayuda del lenguaje de comandos de Ansys®.



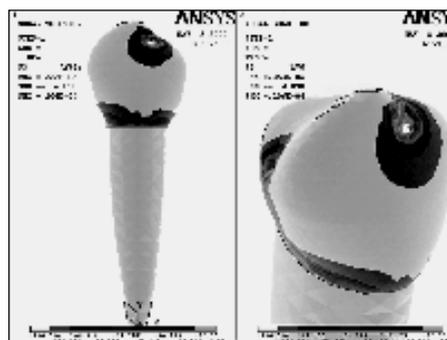
**Fig. 5.** Esfuerzos principales compresivos

Como resultado se obtuvo un modelo tridimensional de elementos finitos en el que se alcanzó un avanzado grado de similitud con la geometría del diente sano. A continuación se procedió a modelar tridimensionalmente algunos de los casos clínicos de pacientes cuyos dientes afectados con lesiones abfractales presentaban facetas de desgaste, estudiados en el proyecto realizado por los estudiantes de odontología

En todos los casos, se encontraron patrones similares al mostrado en la figura 6 con esfuerzos de tensión en el lado contrario al de la aplicación de la carga.



**Fig. 6.** Esfuerzos de tensión en el lado contrario



**Fig. 7.** Distribución de esfuerzos de Von Mises en el modelo tridimensional, con cargas no traumáticas

En la figura 7, correspondiente a un modelo en el cual se aplicaron las cargas en la zona y en la dirección perpendicular a una faceta de desgaste, se observa una concentración de esfuerzos en la zona de transición entre dentina y esmalte, en el mismo lugar donde se encontró la abfracción en el paciente.

En cada uno de los casos estudiados se detectó una concentración de esfuerzos en la zona cervical con un patrón prácticamente idéntico al observado clínicamente, y con una correspondencia directa entre faceta y lesión.

### III. Conclusiones

El modelamiento por elementos finitos confirma la presencia de concentradores de esfuerzo en la zona cervical cuando actúan sobre los dientes cargas oclusales atípicas. De esta manera se afianza la hipótesis de que los esfuerzos mecánicos son la causa principal de las abfracciones.

Cuando la línea de acción de las fuerzas oclusales no pasa por la cámara pulpar a nivel cervical, se presenta una gran concentración de esfuerzos de compresión en el lado contrario al de la aplicación de la carga.

Al encontrarse un comportamiento mecánico tan cercano al observado *in vivo*, se puede establecer una relación entre la presencia, forma y orientación de las facetas de desgaste, con la presencia, forma y tamaño de las lesiones.

Aunque la presencia de grandes esfuerzos de compresión en la zona de ocurrencia de las abfracciones induce a pensar en que estos son la causa de la lesión, es importante profundizar en el estudio del mecanismo de falla del material (dentina-esmalte), ya que la baja resistencia a la tensión, especialmente del esmalte, podría generar fallas a niveles bajos de esfuerzo.

Otro factor de gran importancia en el análisis de los esfuerzos como causa de las lesiones cervicales no cariosas y que se ha estudiado desde el comienzo del proyecto, es el cambio de las características de resistencia mecánica del material con la edad del paciente. El conocimiento de las causas de la disminución de la resistencia de los materiales dentales podría dar luces sobre el mecanismo de falla mecánica y por ende sobre su prevención y tratamiento.

### IV. Bibliografía

[1] Spranger, Heinz, *Investigation into the genesis of angular lesions at the cervical region of teeth*, Quintessence International, Vol. 26, No. 2, 1995.

[2] Lee Wc, Eakle Ws., *Stress-induced cervical lesion: review of advances in the past 10 years*, J. Prosthetic Dentistry, Vol. 75, No. 5, 1996.

[3] Grippo, J. A., *Abfractions: a new classification of hard tissue lesions of teeth*, J. Esthetic Dentistry, Vol. 3, 1991.

[4] Bader, J. D. y Col., *Case-control study of non-cariouse cervical lesions*, Community Dentistry And Oral Epidemiology, Vol. 24, p 286-291, 1996.

[5] Whitehead, S. y Col., *Development of noncariouse cervical notch lesions in vitro*, Journal of esthetic dentistry, Vol. 11, No. 6, pp. 332-337, 1999

[6] Kuroe, T. y Col. *Potential for load-induced cervical stress concentration as a function of periodontal support*. Journal of Esthetic Dentistry, Vol. 11, No. 4, pp. 215-222, 1999.

[7] Schibli, M., Torres, C. y Rodríguez, C., "Análisis de lesiones abfractales por medio de elementos finitos", trabajo final de especialización en rehabilitación oral, directores Martha Lucía Calle Ujueta y Fernando Mejía Umaña, 1998.

[8] Telles, D., Pegorarao, L.F. y Pereira, J. C., *Prevalence of noncariouse cervical lesions and their relation to oclusal aspects: a clinical study*, J. Esthet Dent 12:10-15, 2000.

[9] Atehortúa, C. H., Forero, C.P. y Perico, C.S., "Análisis del comportamiento mecánico y de la estructura del esmalte y la dentina en lesiones abfractales por medio de elementos finitos y microscopía electrónica", trabajo final de especialización en rehabilitación oral. Directores Martha Lucía Calle Ujueta y Fernando Mejía Umaña, 2000.

[10] Simbaqueba, E., Rodríguez, O. y Franco, C.A., "Análisis del comportamiento mecánico de un primer premolar inferior por medio de un modelo tridimensional de elementos finitos y su influencia en la aparición de lesiones abfractales", tesis de grado para optar al título de odontólogo, directores Martha Lucía Calle Ujueta y Fernando Mejía Umaña, 2002.

[11] Franco, C. A., Simbaqueba, E. y Rodríguez, O., "Análisis tridimensional por elementos finitos de un primer premolar", tesis de grado para optar al título de ingeniero mecánico, directores Fernando Mejía Umaña y Martha Lucía Calle Ujueta, 2002

[12] Schibli, M., Torres, C. y Rodríguez C., "Análisis de lesiones abfractales por medio de elementos finitos", trabajo final de especialización en rehabilitación oral, directores Martha Lucía Calle Ujueta y Fernando Mejía Umaña, 1998.

[13] Telles, D., Pegorarao, L.F. y Pereira, J.C., *Prevalence of noncariouse cervical lesions and their relation to oclusal aspects: a clinical study*, J. Esthet Dent 12:10-15, 2000.