

**EVALUACIÓN DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS DEL CANINO
SUPERIOR AL APLICAR UNA FUERZA CON BRAZO DE PODER MEDIANTE
MEF**

CAROLINA VARGAS
MARYURY RICARDO
WILLIAM FUENTES
ELIZABETH TORRES

ASESORA CIENTÍFICA:

Dra. Diana Pachecho
Odontóloga especialista en ortodoncia y ortopedia maxilar

ASESORA METODOLÓGICA:

Dra. Diana Parra
Odontóloga bioestadística

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA
COLEGIO ODONTOLÓGICO COLOMBIANO – UNICOC
ÁREA DE EDUCACIÓN AVANZADA Y CONTINUADA
POSTGRADO DE ORTODONCIA Y ORTOPEDIA MAXILAR
BOGOTÁ D.C., 2017**

**EVALUACIÓN DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS DEL CANINO
SUPERIOR AL APLICAR UNA FUERZA CON BRAZO DE PODER MEDIANTE
MEF**

AUTORES:

CAROLINA VARGAS
MARYURY RICARDO
WILLIAM FUENTES
ELIZABETH TORRES

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA
COLEGIO ODONTOLÓGICO COLOMBIANO – UNICOC
ÁREA DE EDUCACIÓN AVANZADA Y CONTINUADA
POSTGRADO DE ORTODONCIA Y ORTOPEDIA MAXILAR
BOGOTÁ D.C., 2017**

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, por brindarnos la sabiduría que nos permitió llevar a cabo éste proyecto y metas alcanzadas a lo largo del proceso académico.

A nuestras familias, que con su apoyo y comprensión fueron una motivación más para no desfallecer durante este proceso, siendo capaces de entender las ausencias, el cansancio y en ocasiones la falta de tiempo en reuniones familiares y de amigos.

A Nicolás, un ángel que ha llegado y aunque no ha nacido aún, ha sido una compañía e instrumento de unión, admiración y hermandad entre nosotros integrantes de grupo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que nos brindó la vida y la salud para lograr alcanzar uno de nuestros ideales, siendo nuestro guía y fortaleza en los momentos de debilidad. A nuestras familias, que son nuestra motivación para seguir adelante.

A las Dra. Diana Pacheco y Diana Parra, personas sensibles nobles y valiosas personas, que, con su dedicación y conocimiento, fueron pilares de esta investigación. Al departamento de investigación y jurados presentes, quienes nos aportaron valiosos criterios, permitiéndonos obtener resultados óptimos presentados en la presente investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCION.....	15
1. ASPECTOS TEÓRICO CIENTÍFICOS.....	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1.1Pregunta de Investigación	18
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3 PROPÓSITO	20
1.4 MARCO TEÓRICO.....	21
1.4.1 Movimiento dental.....	21
1.4.1.1 Inclinación.....	21
1.4.1.2 Inclinación incontrolada.....	22
1.4.1.3 Inclinación controlada.....	22
1.4.1.4 Traslación.....	22
1.4.1.5 Desplazamiento radicular.....	23
1.4.1.6 Rotación.....	23
1.4.3 Centro de resistencia.....	24
1.4.4 Brazo de poder.....	25
1.4.4 Retracción de los dientes anteriores	26
1.4.5 Elementos finitos.....	26
1.5 OBJETIVOS	27
1.5.1 Objetivo General.....	27
1.5.2 Objetivos Específicos	27
2. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	28
2.1 TIPO DE ESTUDIO.....	28
2.2 OBJETO DEL ESTUDIO	28

2.3 POBLACIÓN.....	28
2.4 CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	28
2.5 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	28
2.6 MUESTRA.....	29
2.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	29
2.8 INSTRUMENTO.....	30
2.9 COMPONENTE ÉTICO.....	30
2.10 PRESUPUESTO.....	30
2.11 CRONOGRAMA.....	31
2.12 MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3. RESULTADOS.....	34
4. DISCUSIÓN.....	40
5. CONCLUSIONES	42
6. RECOMENDACIONES.....	43
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo solido	32
Figura 2. Modelo con brazo de poder	33
Figura 3. Vista frontal y lateral de esfuerzos sin brazo de poder	34
Figura 4. Vista frontal y lateral de Esfuerzos con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente)	35
figura 5. Vista frontal y lateral Esfuerzos con brazo de poder (angulaciones 0° y 12° sagital y axial respectivamente).	36
figura 6. Vista frontal del desplazamiento sin brazo de poder	36
figura 7. Vista lateral del desplazamiento sin brazo de poder	37
figura 8. Vista frontal del Desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente)	37
figura 9. Vista lateral del Desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente)	38
figura 10. Vista apical del Desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente)	38
figura 11. Vista frontal y lateral del desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 0° y 12° sagital y axial respectivamente).	39

RESUMEN

OBJETIVO: Evaluar la distribución de esfuerzos y desplazamientos del canino superior derecho, bajo la acción de una fuerza aplicada con un brazo de poder, analizando los efectos en el centro de resistencia, mediante modelo de elementos finitos (MEF). **MÉTODO:** Estudio experimental por simulación con elementos finitos, donde se utilizó como unidad de análisis la distribución de esfuerzos y desplazamientos, al realizar una mecánica de retracción sobre un canino superior derecho (13), con un brazo de poder a diferentes alturas (0 y 7mm) y un alambre de acero inoxidable 0.019x0.025, por medio de una tomografía que abarque los siguientes criterios de inclusión: formación radicular completa, ápice cerrado, morfología y longitud radicular adecuadas, sin enfermedad periodontal ni compromiso sistémico.

RESULTADOS: Sin brazo de poder hubo un desplazamiento coronal hacia distal sin cambios en la posición radicular. En la simulación con brazo de poder (10° - 12°) se encontró que existe un menor desplazamiento coronal, pero se evidencia un movimiento apical hacia distal. En la simulación con brazo de poder (0° – 12°) se observó un movimiento de traslación.

CONCLUSIONES: De acuerdo a este estudio, se generaron movimientos de inclinación secundarios, asociado al uso inadecuado del vector de fuerza, prolongando así el tiempo de tratamiento ortodóntico durante el cierre de espacios. Para lograr impactar el centro de resistencia y obtener un movimiento de traslación, se requiere tener en cuenta factores como la longitud del brazo de poder, determinada por la medida real del diente a tratar y el vector de fuerza aplicado.

Palabras clave: Canino, esfuerzos, desplazamientos, centro de resistencia, acero inoxidable, brazo de poder, análisis de elementos finitos.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To evaluate the distribution of forces and displacements of the right upper canine, under the action of a force applied with a power arm, by analyzing the effects in the resistance center using a finite element model (MEF). **METHODS:** Experimental simulation with finite elements, where the distribution of stress and displacement was used as a unit of analysis, by performing a retraction mechanism on a right upper canine (13), with a power arm at different heights (0 and 7mm) and a 0.019x0.025 stainless steel wire, using a tomography that includes the following inclusion criteria: complete root formation, closed apex, adequate morphology and root length, without periodontal disease and systemic compromise. **RESULTS:** Without power arm there was a distal coronal displacement without changes in root position. In the simulation with power arm (10° - 12°) it was found that there is less coronal displacement, but an apical to distal movement is evident. In the simulation with power arm (0° - 12°) a translation movement was observed. **CONCLUSIONS:** According to this study, secondary inclination movements were generated, associated with the inadequate use of the force vector, thus prolonging orthodontic treatment time during space closure. In order to achieve impact of the center of resistance and to obtain a translation movement, it is necessary to take into account factors such as the length of the power arm, determined by the actual measurement of the tooth to be treated and the applied force vector. **Key words:** Canine, stress, displacement, center of resistance, stainless steel, power arm, finite element analysis

INTRODUCCIÓN

Uno de los movimientos dentales más comunes en ortodoncia luego de realizar las extracciones de primeros premolares, es la retracción canina. El tratamiento de ortodoncia se divide en tres fases: alineación y nivelación, cierre de espacios y finalización^{1,22}. La fase de cierre de espacios en algunos casos puede ser en una fase o en masa (retracción de los seis dientes anteriores) o en dos fases, la primera para hacer la retracción de los caninos y la segunda para retraer los cuatro anteriores. En la literatura, esto indica que se realiza un movimiento dental distal de cuerpo que no es fácil de lograr. Para conseguir este desplazamiento es necesario que la resultante del sistema de fuerzas pase a través del centro de resistencia (CR) del diente, definido como "el punto a través del cual debe pasar una fuerza aplicada para mover un objeto libre en forma lineal, sin rotación alguna." ^{1,10,12}

El brazo de poder es un aditamento que permite que la resultante de la carga aplicada se aproxime al CR, obteniendo así el movimiento dental de traslación, el cual es considerado como ideal en casos donde se requiere el cierre de espacios post exodoncia de primeros premolares en ortodoncia de forma rápida y estable^{2,5,7}, previniendo la inclinación coronal del canino hacia distal e impidiendo la distribución inadecuada de fuerzas durante la función^{3,6}. Su longitud está determinada por la medida radicular ^{4,11}.

Es importante que una vez lograda la alineación y nivelación esta se mantenga durante todo el tratamiento para no incurrir en tiempos adicionales terapéuticos, y asegurar el cierre del espacio con una inclinación dental adecuada.

El método de Elementos Finitos (MEF), el cual es presentado como un análisis numérico, ha sido una técnica usualmente utilizada para analizar esfuerzos y desplazamientos en sistemas biológicos^{8-9,13}.

Debido a la dificultad de realizar las simulaciones biomecánicas y sobretodo la cuantificación de este tipo de situaciones biológicas, es preciso valerse

de un modelo que permita calcular y brindar aportes a la hora de tomar decisiones clínicas de importancia. Bourahel, construyó un modelo numérico para simular diferentes clases de movimientos ortodónticos. Schneider también desarrolló un modelo para simular el movimiento ortodóntico a largo plazo⁸. Actualmente, la geometría, morfología y las propiedades físicas de los diferentes constituyentes de los tejidos dentales y alveolares tienen influencias sobre la distribución de esfuerzos y desplazamientos, los cuales son importantes a la hora de realizar la simulación del movimiento dental.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es evaluar la distribución de esfuerzos y desplazamientos del canino superior, bajo la acción de una fuerza aplicada con un brazo de poder, analizando los efectos en el centro de resistencia, mediante MEF.

1. ASPECTOS TEÓRICO-CIENTÍFICOS

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de los propósitos del tratamiento ortodóntico, se encuentra lograr la predicción exacta de los efectos clínicos con base a la aplicación de la biomecánica en las diferentes técnicas.

La demanda de un tratamiento de ortodoncia rápido, con precisión y eficiente, con el fin de acortar el tiempo de tratamiento, ha ido en aumento durante los últimos años. Para ello se ha considerado el control del movimiento dental; es decir un sistema de fuerzas para cada tipo de movimiento, tales como flexión a nivel de corona o raíz, produciendo así un desplazamiento a expensas de inclinaciones dentales; o el movimiento en masa mediante la implementación de un brazo de poder soldado a diferentes alturas del arco¹ según necesidad

El centro de resistencia (CR) se ha utilizado como un importante punto de referencia para controlar el desplazamiento de los dientes. Este es definido como el punto teórico sobre el cual el diente está perfectamente en equilibrio, por lo tanto, se cree que impactando éste sitio se logra un desplazamiento dental puro o en cuerpo⁶, La altura en el brazo de poder está directamente relacionada con el CR, siendo el factor más influyente para determinar el desplazamiento dental. No obstante las condiciones de carga óptima para lograr un movimiento controlado de los dientes anteriores en la mecánica de deslizamiento mediante el uso del brazo de poder no son completamente claros⁴.

La ortodoncia requiere un movimiento dental controlado tridimensionalmente tanto en traslación como de rotación.

Según Caputo, el movimiento en masa de un canino es más probable que ocurra cuando la fuerza no excede los 300 g⁷. De acuerdo con Smith y Burstone, las

fuerzas aplicadas al diente que generen traslación (movimiento en cuerpo), rotación, o una combinación de traslación y rotación, es dependiendo de la relación entre la fuerza y el centro de resistencia del diente⁹.

Estudios previos han informado que la ubicación del centro de resistencia es de aproximadamente 1/2 a 2/3 de la longitud radicular medido desde el vértice de la raíz; sin embargo es un punto que no se identifica con facilidad, por ello el método de elementos finitos (FE) es indicado para analizar por medio de una simulación, la ubicación del centro de resistencia y así evaluar si la fuerza aplicada con un brazo de poder logra concentrarse allí para generar un desplazamiento en masa⁹. En el campo de la investigación existe la limitación de realizar experimentos directamente sobre sujetos vivos, por el componente ético y biológico que se comprometería en este aspecto. Por tanto, es cada vez más importante la utilización de modelos numéricos que se aproximen a la realidad estructural del objeto biológico del estudio, la ingeniería y sus herramientas han permitido una excelente calidad de simulación.

Por lo cual, se pretende abarcar el tema, evaluando el esfuerzo transmitido sobre el centro de resistencia, mediante la aplicación de una fuerza con un brazo de poder sobre el canino superior derecho.

1.1.1 Pregunta de investigación

¿Cuáles son los esfuerzos y desplazamientos del canino superior al aplicar una fuerza con brazo de poder a 0 y 7mm?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Con el fin de lograr un acercamiento al centro de gravedad del diente y generar movimientos controlados y en cuerpo, empleamos una biomecánica a través de un aditamento llamado brazo de poder, para reducir el tiempo de la ortodoncia al evitar desplazamientos no deseados. La incorporación de brazos de poder soldados en el arco de retracción, permite ajustar la altura en la aplicación de la fuerza por medio de diferentes longitudes³. Este mecanismo consiste en que el brazo de poder llegue lo más cerca posible al centro de resistencia para lograr equilibrio en los movimientos (movimiento en cuerpo); todo con el fin de aportar al profesional una mayor visión a la hora de la toma de decisiones durante el tratamiento y permitir mantener un mejor control de los dientes en la mecánica de deslizamiento, teniendo en cuenta no sólo la relación entre la línea de acción de una fuerza y la ubicación del centro de resistencia de un diente, sino también el efecto de deformación del arco de alambre en el movimiento dental, ya que es de gran ayuda en el establecimiento de un plan de manejo óptimo.¹⁵

En el momento de hacer un cierre de espacio, el canino es el diente que más frecuentemente se requiere retraer, por esta razón es importante emplear un mecanismo para lograr dicho objetivo sin ningún movimiento indeseado, siendo necesario para la investigación evaluar los esfuerzos y deformaciones que se dan en el CR de este diente, minimizando así el período de tratamiento de ortodoncia haciendolo más efectivo.

La mecánica de deslizamiento consiste en proveer fuerzas ligeras (Rango de 200 gr) durante el cierre de espacio, creando menos inclinación contra el arco y menos deflexión en el mismo, esto reduce la fricción en el sistema y permite un cierre de espacios más efectivo.

Actualmente existe poca evidencia en cuestión del esfuerzo transmitido al centro de resistencia con un brazo de poder en combinación con diversas biomecánicas

ortodónticas; teniendo en cuenta que la implementación de técnicas basadas en la modelación matemática simulada con elementos finitos (FEM), ha resultado ser uno de los análisis más usados por su alto índice de precisión, ya que es un método numérico que simula un fenómeno físico real, a través de un modelo geométrico sintetizando el dibujo en pequeñas partes; por ello se resuelve profundizar en el tema descrito.

1.3 PROPÓSITO

El tema a trabajar, busca continuar la línea de investigación en elementos finitos con base en biomecánica ortodóntica, ampliando el campo de profundización de acuerdo a los temas que surjan.

El presente estudio pretende aclarar si al aplicar una fuerza con un brazo de poder, éste logra impactar el centro de resistencia en un canino superior, para generar un movimiento puro, utilizando la técnica de simulación por el método de elementos finitos.

1.4 MARCO TEORICO

1.4.1 MOVIMIENTO DENTAL

1.4.2 CENTRO DE RESISTENCIA

1.4.3 BRAZO DE PODER

1.4.4 RETRACCIÓN DE LOS DIENTES ANTERIORES

1.5.5 ELEMENTOS FINITOS

1.4.1 MOVIMIENTO DENTAL

El movimiento del diente puede ser descrito de diferentes modos. La variedad del movimiento se puede categorizar en: inclinación, traslación radicular y rotación. Cada tipo básico de movimiento es el resultado de la variación del momento y la fuerza aplicados. La relación entre el sistema de fuerza aplicado y el tipo de movimiento se puede describir como la razón momento-fuerza. La fuerza y el momento aplicados determina el tipo de movimiento o el centro de rotación.

El desplazamiento dental es máximo cuando la fuerza se transmite directamente a nivel del tercio cervical (ubicación aproximada del CR), disminuye a la altura del tercio medio y es menor cuando se aplica en el tercio incisal⁵.

1.4.1.1 Inclinación

Es un tipo de movimiento en el cual hay mayor desplazamiento de la corona del diente de la raíz. El centro de resistencia del movimiento es apical respecto del centro de resistencia. La inclinación puede ser clasificada, además, sobre la base de la localización del centro de resistencia, en inclinación incontrolada y controlada.

1.4.1.2 Inclinación incontrolada

La inclinación incontrolada es la que tiene el centro de rotación entre el centro de resistencia y el ápice.

Una fuerza horizontal a nivel de un bracket origina movimientos de dirección opuesta del ápice radicular y de la corona. Éste es el tipo de movimiento dental más simple, pero a menudo es indeseable. La razón M/F para este tipo de movimiento dental va de 0:1 a aproximadamente 5:1.

En determinadas circunstancias, la inclinación incontrolada puede ser útil, como ocurre en pacientes con trastornos clase II, división II y clase III, donde los incisivos excesivamente verticales muchas veces necesitan proyección.

1.4.1.3 Inclinación controlada

Consiste en la inclinación con centro de rotación en el ápice radicular.

Es un tipo de movimiento muy deseable; se obtiene por aplicación de una fuerza para desplazar la corona y la aplicación de un momento para controlar o mantener la posición del ápice radicular. La razón M/F para este tipo de inclinación es de 7:1.

1.4.1.4 Traslación

El movimiento de traslación del diente también se conoce como movimiento en masa. La traslación de un diente ocurre cuando el ápice radicular y la corona se desplazan a igual distancia y en la misma dirección horizontal. El centro de rotación se encuentra en el infinito. Una fuerza horizontal aplicada en el centro de resistencia de un diente da por resultado este movimiento. No obstante, el bracket donde ocurre la aplicación de la fuerza se halla a distancia del centro de resistencia. Esta fuerza sola aplicada a nivel del bracket no produce traslación. Para obtener traslación a nivel del bracket se requiere una cupla y una fuerza que sean equivalentes al sistema de fuerza a través del centro de resistencia del diente.

Es típico que una razón M/F de 10:1 produzca traslación. Este tipo de movimiento genera estrés uniforme en el periodonto.

1.4.1.5 Desplazamiento radicular:

El desplazamiento radicular se obtiene manteniendo estacionaria la corona de un diente y aplicando un momento y una fuerza para desplazar sólo la raíz. El centro de rotación del diente está en el borde incisal o en el bracket. El movimiento radicular requiere un momento grande. Para lograr el movimiento óptimo, la razón M/F debe ser superior a 12:1.

El nivel de estrés en el área apical requiere significativamente resorción ósea en esa área para que el movimiento dental se produzca. Esta concentración de estrés a menudo precisa resorción indirecta, lo cual toma significativamente más lento el desplazamiento de la raíz. El ritmo más lento del movimiento radicular puede ser aprovechado para aumentar el anclaje.

El desplazamiento radicular en el tratamiento ortodóntico se usa comúnmente para torquear incisivos verticales, para corregir raíces de caninos después del cierre de espacios de extracciones y para verticalizar dientes posteriores hacia mesial.

Es importante mantener estacionarias las coronas, ligándolas a los dientes adyacentes para evitar su desplazamiento en la dirección opuesta.

Para el movimiento hacia lingual de las raíces de incisivos, la fuerza con dirección anterior a menudo es grande y puede llevar hacia adelante aun a los dientes posteriores, para evitar esto, se recomienda utilizar un casquete o una fuerza en dirección distal.

1.4.1.6 Rotación

La rotación pura de un diente requiere una cupla. Ninguna fuerza neta opera en el centro de resistencia de modo que sólo ocurra la rotación. Desde el punto de vista

clínico, este movimiento es requerido más comúnmente para un movimiento tal como se vería desde la perspectiva oclusal.

1.4.2 CENTRO DE RESISTENCIA

El centro de resistencia también es denominado centro de masa, es el punto a través del cual debe pasar una fuerza aplicada para mover un objeto libre en forma lineal, sin rotación alguna; es decir que es el punto de equilibrio de un objeto.

Los dientes aislados, las unidades dentales, los arcos dentales completos y los maxilares en sí tienen cada uno su centro de Resistencia.

El centro de Resistencia de un diente depende de la longitud y la morfología radicular, de la cantidad de raíces y del nivel de soporte por parte del hueso alveolar. La localización exacta del centro de Resistencia de un diente no es identificable con facilidad; sin embargo se determinó que el centro de resistencia para dientes unirradiculares con nivel normal del hueso alveolar se sitúa entre un cuarto y un tercio de la distancia desde la unión amelocementaria (UAC) hasta el ápice radicular. En los dientes multirradiculares el centro de resistencia se encuentra a uno o dos milímetros apicalmente a la furca.

Debido a que los brackets sólo pueden cementarse en las coronas de los dientes, en ortodoncia hay pocas oportunidades en las cuales sea posible el aplicar una fuerza que también actúe a través del centro de resistencia del diente, para producir una traslación pura.

1.4.3 BRAZO DE PODER

Los brazos de poder son dispositivos sencillos y de fácil aplicación ps cuales son usados generalmente para retraer caninos o para cerrar diastemas anteriores. El movimiento aplicado por los brazos de poder va a estar determinado por la longitud que estos presenten y de la medida radicular. La biomecánica consiste en que éstos brazos lleguen lo más cerca posible al centro de resistencia para lograr el cierre de espacios de forma rápida estable (movimiento de cuerpo).

Estos se elaboran punteando un arco rectangular en forma de "C" (por su parte gingival) sobre un botón de adhesión directa. Son cementados por el área gingival de la corona dental y se aplica una fuerza a través de una cadena elástica, un resorte abierto o un elástico de 6 onzas.

VENTAJAS:

- Provoca un movimiento de cuerpo
- De disminuye el tip indeseado de los dientes ya que son traccionados cerca al centro de resistencia.
- El movimiento dental es rápido

DESVENTAJAS:

- Como los brazos son largos. Pueden producir una inflamación gingival o incluso llegar al extremo de invaginarse n l encía del paciente.
- Se invierte tiempo en el laboratorio para su elaboración.
- El brazo de poder se puede desprender del botón y no producir ningún movimiento.

RECOMENDACIONES:

- Elaborar los brazos de poder en base a una radiografía periapical o panorámica. Esto con el fin de ubicar el centro de resistencia y determinar la longitud de los brazos.

- Nos podemos auxiliar de fuerzas interbrackets para acelerar el cierre de los espacios.
- Si se forman triángulos negros al momento del cierre de espacios, es conveniente realizar un recontorneado interproximal (stripping).
- Remitir al periodoncista para que realice una frenilectomia posterior al cierre de espacios.

1.4.4 RETRACCIÓN DE DIENTES ANTERIORES

Este procedimiento utilizado y referenciado ampliamente dentro de la ortodoncia hace referencia al cierre de espacios (dejados en mayor frecuencia por exodoncias de primeros premolares) llevando hacia atrás el segmento anterior dentoalveolar (caninos, laterales y centrales). Durante este procedimiento es de vital importancia determinar al tipo de cierre a realizar durante la retracción de acuerdo al control del anclaje. Es así que manejando un anclaje máximo se realizaría una retracción pura del segmento anterior con una mínima mesialización del segmento posterior, con un anclaje intermedio el cierre del espacio se realizaría a expensas de pérdida de anclaje posterior (mesialización) y retracción del segmento anterior y el anclaje mínimo, en donde la mayor parte del espacio se cierra a expensas de la pérdida de anclaje. A través de la literatura, muchos métodos de retracción han sido descritos como la inclinación distal de los dientes posteriores, torque positivo molar, botón de Nance, barra transpalatina, diferentes técnicas reportadas por Begg, Andrews Graber, Bennett y McLaughlin en aparatología preajustada (Güray y Metin, 1997).

1.4.5 MODELAMIENTO DE ELEMENTOS FINITOS

El sistema masticatorio comprendido como un sistema biomecánico esta constantemente sometido a transferencia de diferentes fuerzas y cargas masticatorias principalmente por los dientes (Versluis & Tantbirojn, 2011). De allí la complejidad y la falta de investigación en aspectos biomecánicos abordados desde la odontología restaurativa, prostodoncia, endodoncia ortodoncia e

implantología.

Cuando se carga cualquier estructura, esta se deforma y genera estrés. Esto es normal dentro de un componente mecánico. Pero muchas veces ese stress excede el limite elástico y puede resultar en una falla, el estrés representa en cómo las fuerzas masticatorias son transferidas a través de los dientes al diente o a la estructura de un implante (Versluis & Tantbirojn, 2011). Ese estrés no es cuantificable directamente sobre el sistema estomatognatico (Soares &Versluis 2012). La relación entre estrés y deformación esta expresado en ecuaciones de acuerdo a leyes físicas universales. El análisis de elemento finitos es un análisis numérico ampliamente usado que ha sido aplicado satisfactoriamente en muchas áreas de la bioingeniería desde los años 50's (Soares &Versluis 2012).

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la distribución de esfuerzos y desplazamientos del canino superior, bajo la acción de una fuerza aplicada con un brazo de poder a 0 y 7 mm, analizando los efectos en el centro de resistencia, mediante FEM.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la expresión de los esfuerzos transmitidos al Centro de resistencia, por medio de la aplicación de una fuerza con un brazo de poder a diferentes alturas 0 y 7mm.
- Determinar el desplazamiento del canino superior, por medio de la aplicación de una fuerza con un brazo de poder a diferentes alturas 0 y 7mm.

- Comparar los esfuerzos y desplazamientos del canino superior bajo la acción de una fuerza aplicada mediante el uso de un brazo de poder por medio de MEF.
- Describir el tipo de movimiento dental posterior a la aplicación de la fuerza.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 TIPO DE ESTUDIO

Experimental por simulación con elementos finitos.

2.2 OBJETO DE ESTUDIO

Esfuerzo transmitido al centro de resistencia, por medio de la aplicación de una fuerza con un brazo de poder.

2.3 POBLACIÓN

No aplica en este estudio

2.4 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Tomografía de paciente con erupción completa de canino superior derecho
- Tomografía de paciente con formación radicular completa del canino superior derecho y ápice cerrado
- Tomografía de paciente sin enfermedad periodontal y clínicamente sano
- Tomografía de paciente sin compromiso sistémico

2.5 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Tomografía de paciente con previo tratamiento ortodóntico

- Tomografía de paciente menor de edad

2.6 MUESTRA

Para el estudio se selecciona el canino, ya que es el diente que con frecuencia se requiere traccionar para lograr cierre de espacio posterior a la extracción indicada de primeros premolares, además de contar con la longitud adecuada para la realización de esfuerzos en diferentes alturas. Se eligió el maxilar superior aleatoriamente.

2.7 VARIABLES (OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES)

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN OPERACIONAL	NATURALEZA	NIVEL MEDICIÓN ESCALA	ESCALA O MEDIDA
ALTURAS CON UN BRAZO DE PODER	Independiente	Fuerza que se transmite al centro de resistencia según la posición del brazo de poder	Paramétrica	De razón	<ul style="list-style-type: none"> • 0mm • 7mm
ESFUERZO CONCENTRADO EN EL CENTRO DE RESISTENCIA	Dependiente	Concentración del esfuerzo en el centro de resistencia	No paramétrica	Binominal	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
DESPLAZAMIENTO DEL CANINO SUPERIOR DERECHO	Dependiente	Desplazamiento producida por la aplicación de la fuerza	No paramétrica	Binominal	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
INCLINACIÓN	Control	Movimiento dental que se produce al aplicar la fuerza	No paramétrica	Binominal	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
ROTACIÓN	Control	Movimiento dental que se produce al aplicar la fuerza	No paramétrica	Binominal	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
TRASLACIÓN	Control	Movimiento dental que se produce al aplicar la fuerza	No paramétrica	Binominal	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No

2.8 INSTRUMENTO

No aplica para este estudio

2.9 COMPONENTE ÉTICO

Según la resolución 8430 de 1993, este estudio se catalogó sin riesgo ya que no participarán personas en la investigación debido a que el análisis se realizará por medio del método de elementos finitos.

2.10 PRESUPUESTO

No.	DESCRIPCION	FUENTE	VALOR	
			UNIDAD	VALOR TOTAL
1	Asesor Científico	UNICOC	1.500.000	1.500.000
1	Asesor Metodológico	UNICOC	1.500.000	1.500.000
1	Asesor Estadístico	UNICOC	1.200.000	1.200.000
1	Asesor Científico (Ingeniero)	USTA	1.200.000	1.200.000
1	Papelería		200.000	200.000
1	Estación de trabajo	USTA	1.000.000	1.000.000
1	ANSYS MULTIPHYSICS RESEARCH	USTA	800.000	800.000
	TOTAL		7.400.000	7.400.000

2.11 CRONOGRAMA

MESES/ ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Revisión de literatura	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Propuesta de investigación		■	■	■	■														
Proyecto					■	■	■	■	■	■									■
Fase de modelado										■	■	■	■	■	■	■	■		
Estudios elementos finitos										■	■	■	■	■	■	■	■		
Resultados																	■	■	
Sustentación																			■

2.12 MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño utilizado para el desarrollo de esta investigación fue experimental por medio de simulación con elementos finitos, utilizando una tomografía realizada por un escáner de micro-TC de imágenes múltiples (3DX, J. Morita, Kyoto, Japón). Dentro de los criterios de inclusión se tuvo en cuenta la tomografía de un paciente que cumple con las siguientes condiciones: erupción completa de canino superior derecho, clínicamente sano, sin enfermedad periodontal, formación radicular completa y ápice cerrado, morfología y longitud radicular adecuada, paciente sin compromiso sistémico. En los criterios de exclusión se encuentran tomografía de paciente con previo tratamiento ortodóntico, paciente menor de edad.

Las imágenes CT se guardaron como datos DICOM (imagen digital y comunicación en medicina) y se exportaron al software de procesamiento y edición de imágenes en 3D (Mimics 10.02, Materialize Software, Leuven, Bélgica) en formato STL. El modelo sólido 3D fue creado y convertido al modelo de elementos finitos 3D (MEF) mediante el uso de software ANSYS en sus fases de pre procesamiento, procesamiento y post procesamiento. Las imágenes tomográficas se utilizaron para realizar el modelamiento del cuadrante superior

derecho, de donde se seleccionó el segmento de lateral, canino y hueso alveolar (hueso esponjoso y cortical).

Las imágenes TC consistieron en secciones transversales, con un intervalo de 0,5 mm. Las formas geométricas del canino y lateral superior derecho y hueso alveolar fueron reconstruidas por MIMICS (Materialize, Leuven, Bélgica) para obtener un archivo STL. Se importa al software RAPID FORM para convertir los archivos STL a archivos sólidos con extensión para X_T (sólido), posteriormente se importan al SOLID WORKS para ensamblar el conjunto de estructuras.

El ligamento periodontal con un espesor uniforme de 0.25 mm alrededor de la raíz del diente, los brackets standard con slot 0.022 x 0.028 y el arco de acero inoxidable de calibre 0.019 x 0.025 fueron creados a partir del programa SOLIDWORKS. El modelo de elementos finitos fue construido en ANSYS Workbench (Swanson Analysis System).

Las propiedades mecánicas del diente, hueso cortical y esponjoso, ligamento periodontal, bracket, brazo de poder y alambre se asumieron como materiales isotrópicos y linealmente elásticos.

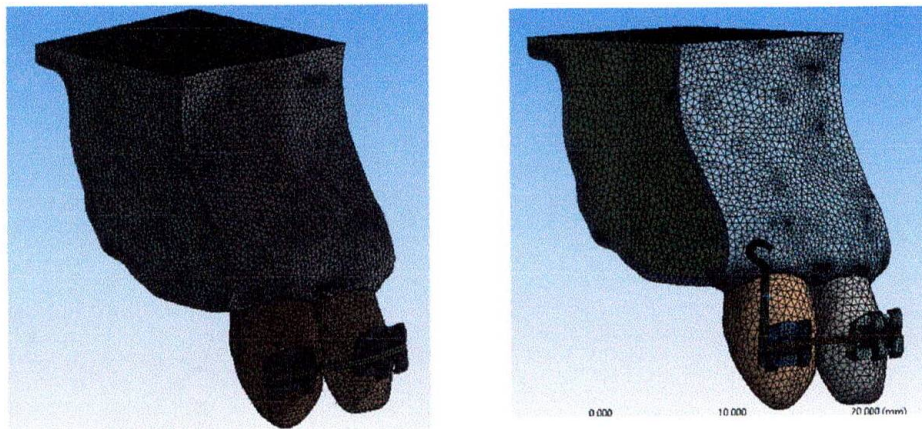


Figura 1. Modelo solido

En el estudio se realizaron 3 simulaciones diferentes, la primera a una altura de 0mm y la segunda y tercera a 7mm a partir del slot, aplicando una fuerza de 100gr¹⁸ para las 3 simulaciones, las dos primeras con un ángulo de 12° en el plano axial y de 10° en el plano sagital sobre el canino y la tercera con una angulación axial de 12° y sagital de 0°, con el fin de evaluar los esfuerzos y desplazamientos que se presenten durante el movimiento.

El modelo sin brazo de poder conto con 369415 elementos tetraédricos y 561890 nodos, mientras que el modelo con brazo de poder conto con 246607 elementos y 389310 nodos.

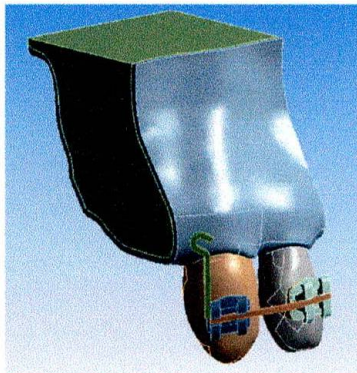


Figura 2. Modelo con brazo de poder

El brazo de poder fue diseñado con una longitud de 7mm a partir de una extensión del hook del bracket del canino, considerándose como un dispositivo sencillo y eficaz, utilizado generalmente para cierre de espacios¹⁴. La longitud del brazo de poder (BP) fue determinada por el tamaño total del canino.

3. RESULTADOS

Según el modelamiento conseguido mediante el programa ANSYS 16.0, cuando se realizaron las simulaciones con y sin brazo de poder, utilizando la cantidad de fuerza previa establecida, se obtuvo los siguientes resultados teniendo en cuenta las variables esfuerzo y desplazamiento:

Esfuerzos sin brazo de poder:

El tiempo de simulación para éste modelo fue de una hora.

Para la variable esfuerzos, desde una vista frontal y lateral se encontraron rangos de 0.0003453 hasta 0.31194 MPa, se observó que la zona de mayor concentración de fuerza del canino se ubicó hacia mesial del tercio cervical de la corona clínica.

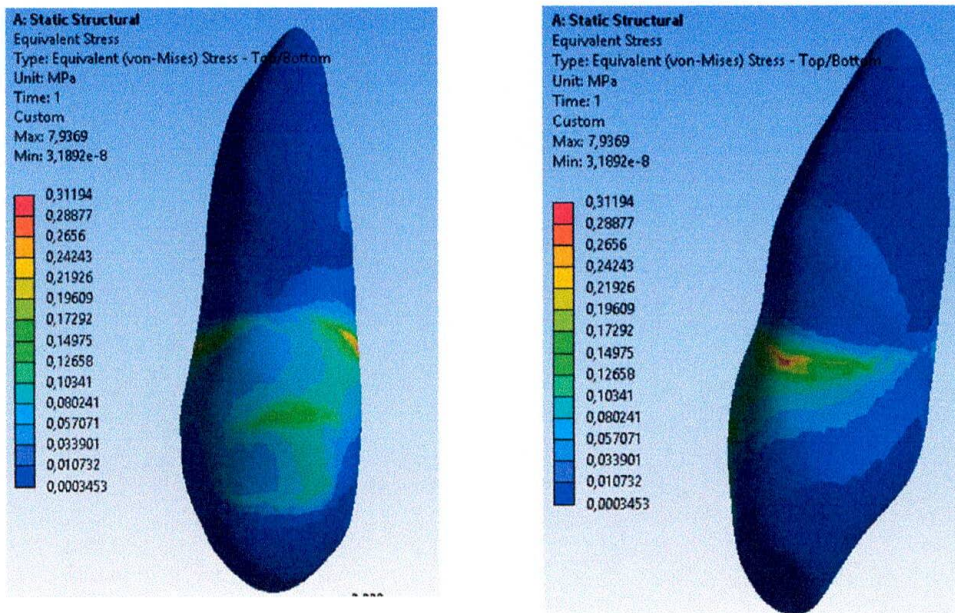


Figura 3. Vista frontal y lateral de esfuerzos sin brazo de poder

Esfuerzos con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente):

El tiempo de simulación para éste modelo fue de una hora.

Desde una vista frontal y lateral se encontraron rangos de 0.002262 hasta 1.3056 MPa, observándose que la mayor concentración de fuerza se generó a nivel del centro de corona clínica, específicamente en la zona de adhesión del bracket al diente.

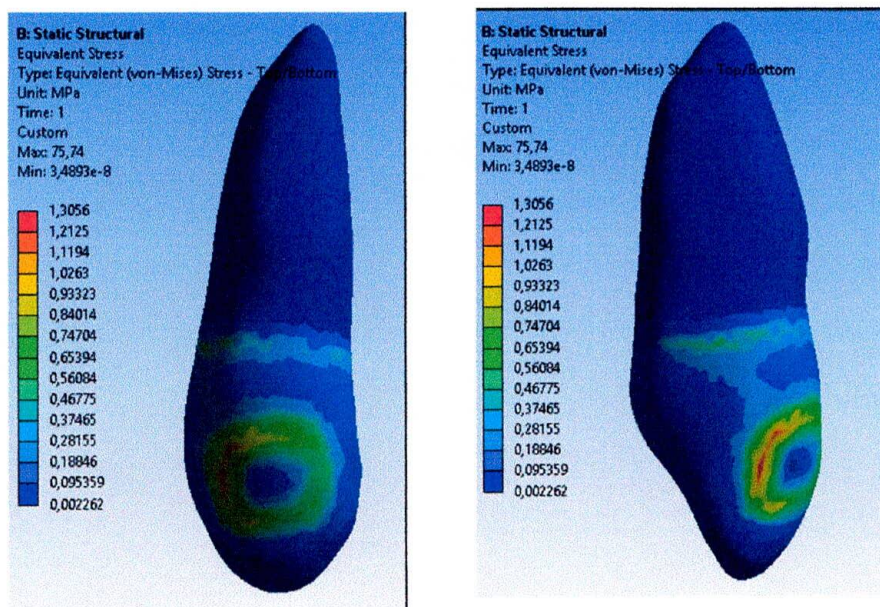


Figura 4. Vista frontal y lateral de Esfuerzos con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente)

Esfuerzos con brazo de poder (angulaciones 0° y 12° sagital y axial respectivamente):

Desde una vista frontal y lateral se encontraron rangos de 0.0013694 hasta 1.6331 MPa, observándose que la mayor concentración de fuerza se generó a nivel del centro de corona clínica, específicamente en la zona de adhesión del bracket al diente, seguido por la zona mas coronal radicular.

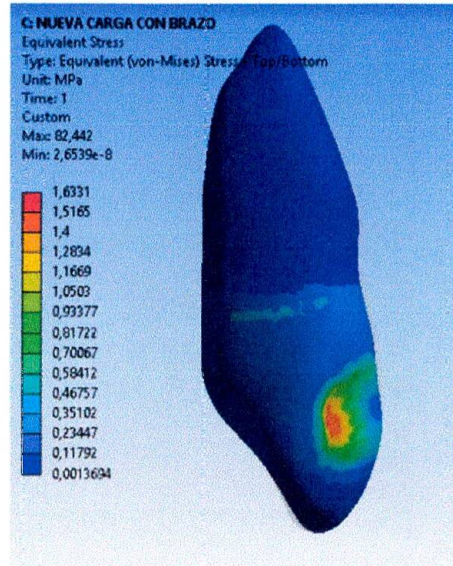
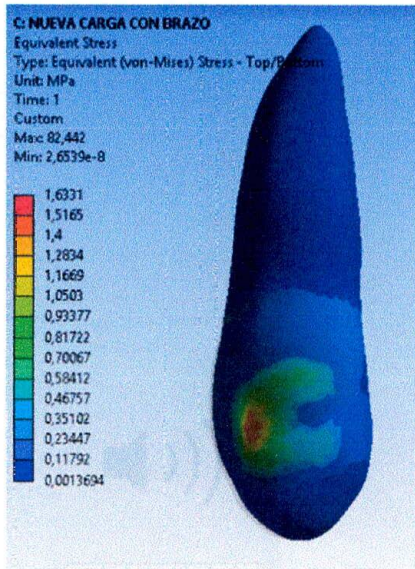


figura 5. Vista frontal y lateral Esfuerzos con brazo de poder (angulaciones 0° y 12° sagital y axial respectivamente).

Desplazamiento sin brazo de poder:

Para la variable desplazamiento se obtuvo rangos desde 0.0003453 hasta 0.31194×10^{-6} m, se observó en la vista frontal una inclinación coronal hacia distal (3.083×10^{-6} m), manteniéndose la raíz en su posición original.

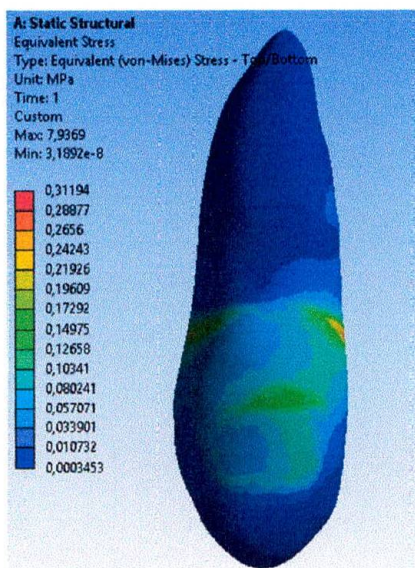


figura 6. Vista frontal del desplazamiento sin brazo de poder

Desde la vista lateral, se observó un desplazamiento coronal en sentido palatino, manteniéndose la raíz en su posición original.

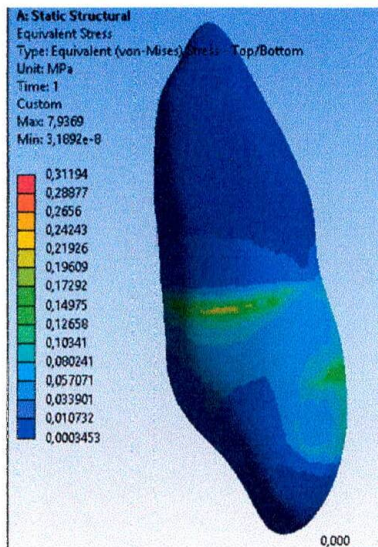


figura 7. Vista lateral del desplazamiento sin brazo de poder

Desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente):

Para esta simulación, se obtuvo rangos desde 4.8946×10^{-6} m hasta $0.00036309 \times 10^{-6}$ m, se observó en la vista frontal una inclinación coronal hacia mesial e inclinación radicular hacia distal, expresándose una leve rotación en contra de las manecillas del reloj.

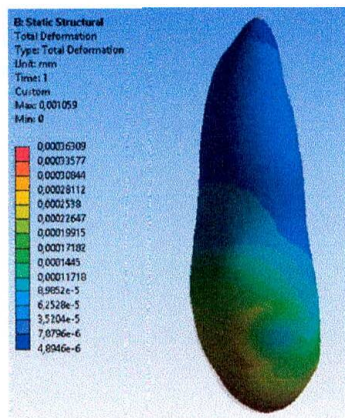


figura 8. Vista frontal del Desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente)

Desde una vista lateral, se observó un desplazamiento coronal hacia palatino en menor grado, respecto a lo encontrado en el modelo sin brazo de poder.

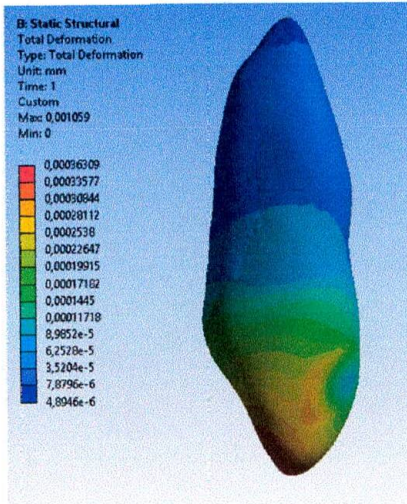


figura 9. Vista lateral del Desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente)

Apicalmente, se observó un desplazamiento de $4.9048 \times 10^{-6} \text{m}$.

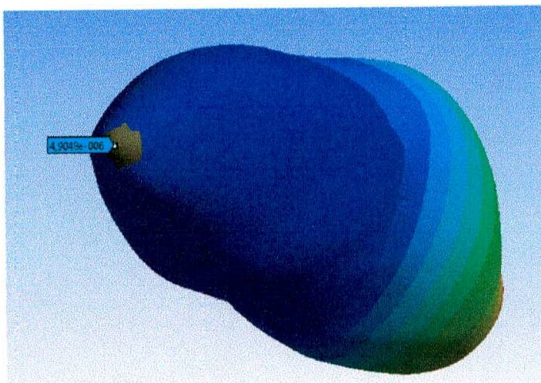


figura 10. Vista apical del Desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 10° y 12° sagital y axial respectivamente)

Desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 0° y 12° sagital y axial respectivamente):

Para esta simulación, se obtuvo rangos desde $9.241 \times 10^{-6} \text{m}$ hasta $0.00025184 \times 10^{-6} \text{m}$, se observó en la vista frontal un movimiento en cuerpo hacia distal y

desde la vista lateral un desplazamiento coronal hacia vestibular y un leve desplazamiento radicular hacia palatino.

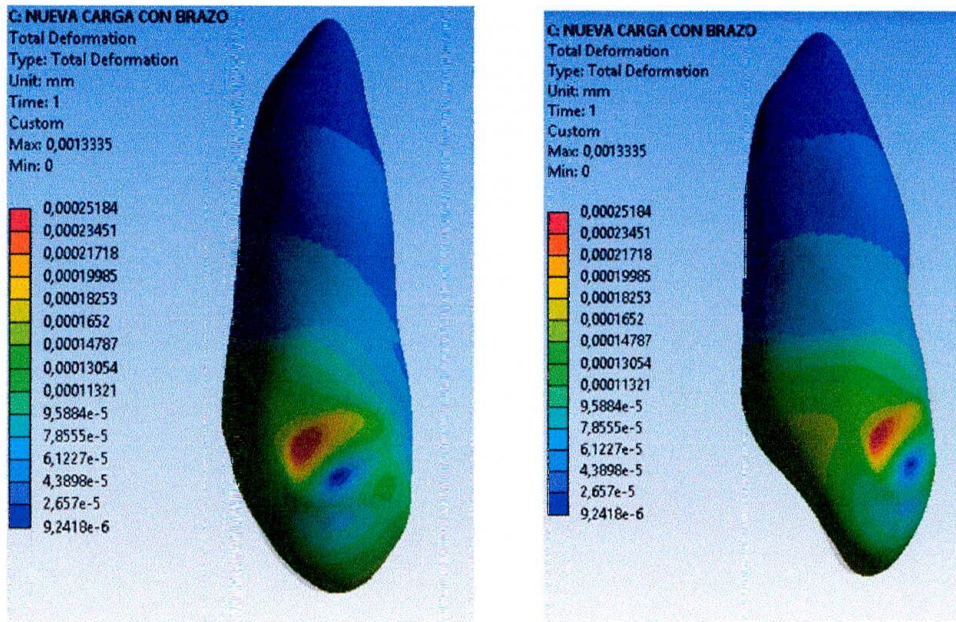


figura 11. Vista frontal y lateral del desplazamiento con brazo de poder (angulaciones 0° y 12° sagital y axial respectivamente).

4. DISCUSIÓN

Basados en el estudio de Ozaki & Cols en el 2015, donde se utilizó un brazo de poder de 7mm de longitud, se decide emplear esta medida para la presente investigación, promediando así mismo la ubicación del centro de resistencia del canino en condiciones de normalidad¹⁴.

En el desplazamiento sin brazo de poder en la vista frontal, se atribuye la inclinación coronal hacia distal, al hecho de que la fuerza se ejerció lejos del centro de resistencia y el mayor desplazamiento observado se produjo en el punto de fulcro para dicha inclinación, en tanto para la vista lateral se observó un desplazamiento hacia palatino de la corona atribuido al mismo efecto.

En la distribución de esfuerzos en el modelo sin brazo de poder, en la vista frontal, se observó una mayor concentración de esfuerzos en la zona mesial del tercio cervical de la corona clínica, lo que se considera inadecuado ya que no se acerca al centro de resistencia, generando la inclinación anteriormente mencionada.

En el desplazamiento con brazo de poder a 7mm distal al canino (10°-12°), en la vista frontal, se demostró una leve inclinación coronal hacia mesial y radicular hacia distal en mayor grado. Desde el plano lateral, se observó una inclinación coronal palatina, similar a los resultados arrojados por la investigación de Tominaga & cols en el 2009, en el que concluyen que este efecto se produce cuando el brazo de potencia supera los 5,5 mm y se ubica distal al canino⁵.

El desplazamiento obtenido en el presente estudio, es explicado por un acercamiento de la fuerza al centro de resistencia, pero sin impactarlo directamente, por lo cual no se produjo el movimiento de traslación puro, ya que se generó un momento a causa del vector de fuerza resultante.

Con respecto a los esfuerzos al utilizar el brazo de poder, se observa que se distribuyó de una forma más acorde a lo esperado; así mismo, se evidencia una mayor concentración a nivel del centro de la corona clínica, más exactamente en el área de adhesión del bracket al diente, hacia el sitio del punto de aplicación de la fuerza.

Por otro lado, en el desplazamiento generado por el modelo con brazo de poder a 7 mm ($0^\circ - 12^\circ$), se observó un movimiento de traslación hacia distal sin inclinación, explicado por el vector de fuerza aplicado perpendicular al brazo de poder.

Así mismo, la mayor concentración de esfuerzos se encontró ubicado en el centro de la corona clínica, transmitiendo la fuerza a lo largo del tercio cervical radicular.

Al realizar la comparación de las 3 simulaciones, se encontró que en el modelo sin brazo de poder hubo un desplazamiento de 1.54×10^{-4} m; con brazo de poder ($10^\circ - 12^\circ$) arrojó un desplazamiento de 3×10^{-4} m, y en el modelo con brazo de poder ($0^\circ - 12^\circ$) se encontró un desplazamiento de 2.5×10^{-4} m, lo que explica que al utilizar este aditamento, se genera un desplazamiento casi del doble durante el mismo tiempo.

En general, la localización del centro de resistencia no se puede describir con precisión, dado que la forma dental, ligamento periodontal y hueso alveolar tienen características propias de cada individuo¹⁵⁻¹⁶.

Kim en el 2010, encontró que la longitud del brazo de poder entre 7 y 9mm genera un desplazamiento dental en cuerpo, cuando éste aditamento se localiza entre canino y premolar; mientras que en el presente estudio se demostró que con una longitud de 7mm del brazo de poder ($10^\circ - 12^\circ$), el desplazamiento no logró impactar directamente al CR, a causa del vector de fuerza resultante¹⁷.

Por consiguiente, como se observó en la simulación con brazo de poder ($0 - 12^\circ$), el movimiento de traslación está relacionado, no solo con la longitud del brazo de poder, sino con la dirección de la aplicación de la fuerza.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a este estudio, se generaron movimientos de inclinación secundarios, asociado al uso inadecuado del vector de fuerza, prolongando así el tiempo de tratamiento ortodóntico durante el cierre de espacios.

Para lograr impactar el centro de resistencia y obtener un movimiento de traslación, se requiere tener en cuenta factores como la longitud del brazo de poder, determinada por la medida real del diente a tratar y el vector de fuerza aplicado.

6. RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar ampliando la línea de investigación, empleando una mayor muestra y la utilización de un brazo de poder a diferentes alturas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nanda R, Kuhlberg A. Biomecánicas y estética, estrategias en ortodoncia clínica. Ed. Médica Panamericana. Argentina. Amolca: 1998. p. 1-20
2. Quirós O. Haciendo fácil la ortodoncia: Biomecánica del movimiento dental. Ed. 5. Venezuela: Amolca; 2010. p. 219-220
3. Rokutanda H. Koga Y. Yanagida H. Tominaga J. Fujimura Y. Yoshida N. Effect of power arm on anterior tooth movement in sliding mechanics analyzed using a three-dimensional digital model. *Orthodontic waves*. 2015; 74 (15): 93–98
4. Sia S. Koga Y. Yoshida N. Determining the Center of Resistance of Maxillary Anterior Teeth Subjected to Retraction Forces in Sliding Mechanics. *Angle Orthod*. Vol 77, No 6, 2007
5. Tominaga J. Tanaka M. Koga Y. Gonzales C. Kobayashi M. Yoshida N. Optimal loading conditions for controlled movement of anterior teeth in sliding mechanics. *Angle Orthod*. 2009;79 (6):1102-7
6. Ansari T. Mascarenhas R. Husain A. Salim M. Evaluation of the power arm in bringing about bodily movement using finite element analysis *Orthodontics*. 2011; 12(4):318-29
7. Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1984.
8. Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B. The finite Element Method: a Tool to Study Orthodontic Tooth Movement. *J Dent Res*. 2005; 84 (5):428-433
9. Soares C. Versluis A. Valdivia A. Bicalho A. Finite Element Analysis – From Biomedical Applications to Industrial Developments: Finite Element Analysis in Dentistry- Improving the Quality of Oral Health Care. Brasil.2012. p.27-50
10. Burstone CJ, Pryputniewicz RJ. Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. *Am J Orthod*. 1980; 77:396–409

11. Jiang F, Kula K, Chen J. Estimating the location of the center of resistance of canines. *Angle Orthodontist*. 2015; 0: 1-6
12. Sia S, Koga Y, Yoshida N. Determinar el centro de la resistencia de los dientes anteriores superiores sometidos a fuerzas de retracción en la mecánica de deslizamiento. Un estudio in vivo. *Orthod Angle*. 2007; 77 (6): 999 -1.003p.
13. Burstone CJ. La aplicación de la bioingeniería a la ortodoncia clínicos. En: Graber TM, Swain BF, editores. *Ortodoncia, principios y técnicas actuales*. St. Louis: Mosby; 1985.193-228p
14. Ozaki H & Cols. Biomechanical aspects of segmented arch mechanics combined with power arm for controlled anterior tooth movement: A three-dimensional finite element study. *Journal of dental biomechanics*, Vol. 6: 1-6;2015.
15. Sia S, Shibazaki T, Yoshiyuki K, Yoshida N. Experimental determination of optimal force system required for control of anterior tooth movement in sliding mechanics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2009;135 (1).
16. Rokutanda H, Koga Y, Yanagida H. Effect of power arm on anterior tooth movement in sliding mechanics analyzed using a three-dimensional digital orthodontic wave 2015; 74: 93-98.
17. Kim T, Suh J, Kim N, Lee M. Optimum conditions for parallel translation of maxillary anterior teeth under retraction force determined with the finite element method. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2010; 137 (5).
18. Ricketts R, Bench R, Gugino C, Hilgers J. *Técnica bioprogresiva de rickets* 1983; 1: 95-110.
19. Uribe G. *Fundamentos de odontología ortodoncia teórica y clínica*.2004; 1: 176-190.
20. Gregoret J, Tuber E, Escobar H. *El tratamiento ortodóncico con arco recto*. 2003; 1: 53-56.
21. Caputo A, Chaconas SJ, Hayashi RK. Photo elastic visualization of

- orthodontic forces during canine retraction. Am J Orthod 1974; 65:250-259p.
22. Camargo L, García S. Fricción durante la retracción de caninos en ortodoncia: revision de literature. Revista CES Odontología 2007; 20:1-5.