



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

Facultad de  
**ESTOMATOLOGÍA**

EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DENTARIO Y ESTRÉS EN  
EL LIGAMENTO PERIODONTAL DURANTE LA  
VERTICALIZACIÓN DE UNA SEGUNDA MOLAR INFERIOR  
UTILIZANDO DOS MÉTODOS DE ANCLAJE: UN ESTUDIO DE  
ELEMENTOS FINITOS

EVALUATION OF TOOTH MOVEMENT AND STRESS ON THE  
PERIODONTAL LIGAMENT DURING UPRIGHTING  
MOVEMENT OF A LOWER SECOND MOLAR USING TWO  
ANCHORAGE METHODS: A FINITE ELEMENT STUDY

TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN ORTODONCIA Y ORTOPEDIA MAXILAR

AUTOR

CAROLA MERCEDES SALAZAR LOPEZ

ASESOR

DIANA CECILIA BECERRA NUÑEZ

LIMA – PERÚ

2024



**ASESOR DE TRABAJO ACADÉMICO**

**ASESORA**

Mg. Esp. Diana Cecilia Becerra Nuñez

Departamento Académico de Estomatología del Niño y el Adolescente

ORCID: 0009-0006-1244-4786

Fecha de aprobación: 20 de junio de 2024

Calificación: Aprobado

## **DEDICATORIA**

A mi esposo Junior, por su apoyo, paciencia y amor en todos estos años de residencia. A mi hijo Juan Diego, por ser una razón más de vida y de superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Primero agradecer a Dios, por todas las bendiciones que me ha dado en la vida tanto a nivel profesional como familiar.

Después, agradecer a la Dra. Diana Becerra, que además de ser mi asesora de tesis, también fue mi docente clínica, de la cuál aprendí mucho durante estos tres años de residencia.

Y por último, y no menos importante, un profundo agradecimiento a mi madre, por animarme a cumplir una más de mis metas, por su apoyo constante y su amor incondicional, y porque sin ella, hubiese sido muy difícil seguir este largo camino.

## **DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

## RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

### EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DENTARIO Y ESTRÉS EN EL LIGAMENTO PERIODONTAL DURANTE LA VERTICALIZACIÓN DE UNA SEGUNDA MOLAR INFERIOR UTILIZANDO DOS MÉTODOS DE ANCLAJE: UN ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>11</b> %	<b>11</b> %	<b>1</b> %	<b>0</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.upch.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>7</b> %
<b>2</b>	<b>www.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>www.researchgate.net</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>6</b>	<b>www.sonelastic.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<b>prezi.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>www.copdec.es</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
Resumen	
Abstract	
I. Introducción	1
II. Objetivos	3
III. Materiales y métodos	4
IV. Resultados esperados	14
V. Conclusiones	15
VI. Referencias bibliográficas	16
VII. Presupuesto y cronograma	18
Anexos	

## RESUMEN

**Introducción:** Un problema frecuente en ortodoncia es la mesioangulación de las segundas molares inferiores cuyo tratamiento es la verticalización. La verticalización de la molar es un tratamiento complejo ya que presenta varios efectos indeseados que van a tener repercusiones tanto a nivel funcional como periodontal. La técnica más empleada para verticalizar una molar es el uso de cantiléver dentro de los cuales existen dos métodos de anclaje que son el convencional y el esquelético. **Objetivo:** Evaluar el movimiento dentario y el estrés en el ligamento periodontal durante la verticalización de una segunda molar inferior utilizando dos métodos de anclaje convencional y esquelético. **Materiales y métodos:** La metodología desarrollada en este estudio fue mediante el análisis de elementos finitos (MEF). Se modelaron todos los elementos a usar en el sistema mediante el Software AutoCAD que fueron desde la segunda molar inferior hasta el incisivo central, hueso, ligamento periodontal, alambres (TMA y SS) brackets y tubo adhesivo. Se ensamblaron todos los elementos usados en los dos métodos de anclaje con cantilevers, utilizando el Software SolidWorks. Luego, se realizaron las simulaciones usando una fuerza de 80g y un momento de 1600g/mm. Finalmente, se realizaron las mediciones después de realizado el movimiento dentario y los datos se recogieron junto con las distribuciones de estrés en el ligamento periodontal. **Conclusiones:** Es importante seleccionar adecuadamente las terapias biomecánicas y conocer qué métodos de anclaje nos da menos efectos secundarios y menos estrés periodontal. MEF es una técnica muy utilizada en investigación odontológica que nos ayuda a conocer este comportamiento biomecánico y poder trasladarlo a la práctica clínica.

**Palabras clave:** verticalización molar, método de elementos finitos, anclaje ortodóntico.

## ABSTRACT

**Introduction:** A common problem in orthodontics is mesioangulation of the lower second molars, which treatment is uprighting. Molar uprighting is a complex treatment because it presents several unwanted effects that will have repercussions on both a functional and periodontal level. The most used technique to upright a molar is the use of cantilever within there are two methods of conventional and skeletal anchorage. **Objective:** To evaluate tooth movement and stress in the periodontal ligament during the uprighting of a lower second molar using two methods of conventional and skeletal anchorage. **Materials and methods:** The methodology developed in this study was through finite element analysis (FEM). All the elements to be used in the system were modeled using AutoCAD Software, which were from the lower second molar to the central incisor, bone, periodontal ligament, wires (TMA and SS), brackets and adhesive tube. All elements used in the two anchoring methods with cantilevers were assembled using SolidWorks Software. Then, Simulations were performed using a force of 80g and a moment force of 1600g/mm. Finally, the measurements were made after tooth movement and the data were collected together with the stress distributions in the periodontal ligament. **Conclusions:** It is important to properly select biomechanical therapies and know which anchorage methods give us fewer secondary effects and less periodontal stress. FEM is a technique widely used in dental research that helps us to understand this biomechanical behavior and be able to transfer it to clinical practice.

**Keywords:** molar uprighting, finite element method, orthodontic anchorage.



## **I. INTRODUCCIÓN**

La mesioangulación de las segundas molares inferiores tienen una incidencia del 0.03-0.3% en la población en general y del 2-3% en pacientes ortodónticos (1,2), las causas más comunes son la impactación o la pérdida prematura de la primera molar inferior. La pérdida prematura de la primera molar inferior es un problema común en pacientes ortodónticos adultos, y generalmente es debido a una alta prevalencia de caries por ser uno de los primeros dientes en erupcionar y estar expuesto a todos los procesos ácidos del medio intraoral (3). Después de la pérdida de la primera molar inferior existe una marcada inclinación hacia mesial y lingual de las segundas y terceras molares inferiores; al igual que una inclinación distal de las premolares (4).

Las consecuencias de la mesioangulación son la aparición de problemas periodontales y funcionales, tales como defectos óseos verticales y bolsas infraóseas, extrusión del molar antagonista, contactos prematuros, interferencias oclusales y problemas protésicos debido a la dificultad en la inserción de la prótesis cuando existe una inclinación dental excesiva (5). La verticalización molar por medios ortodónticos es el tratamiento más aceptable por los pacientes, y dentro de la literatura se presentan diversos sistemas para verticalizar molares en diferentes situaciones. Analizando los dispositivos y su biomecánica, se considera a los cantilevers como una de las técnicas de verticalización mayormente empleadas, que presentan cierta ventaja sobre los arcos continuos. Debido a que éstos presentan una mejor distribución de las fuerzas de reacción y evitan la menor cantidad de efectos

secundarios indeseados (6). Los cantilevers pueden usar dos métodos de anclaje para verticalizar una molar: anclaje convencional o esquelético (7).

Park, en 2002, propuso por primera vez el uso de miniimplantes en la zona retromolar para enderezar una segunda molar. Otros autores como Sohn, en 2007, propusieron la colocación mesial del miniimplante, usándolo como anclaje indirecto (8). Una manera de cuantificar el estrés periodontal y la distribución de la fuerza al momento de la verticalización es por el método de elementos finitos (MEF). MEF permite determinar la tensión y deformación de un objeto o de un sistema sometido a fuerzas (9).

No existen estudios de elementos finitos sobre verticalización con cantilevers comparando estos dos sistemas de anclaje y el estrés periodontal sobre los dientes a verticalizar. Es por ello que, debido a la frecuencia ascendente de pacientes con molares mesioanguladas es necesario tener más estudios donde se puedan comparar estos sistemas de verticalización. Esta información facilitará conocer el comportamiento de estos sistemas y cuáles son sus efectos secundarios, que son de gran relevancia en la toma de decisiones durante la práctica clínica. Por este motivo se plantea la pregunta de investigación ¿Cuál es el movimiento dentario y estrés en el ligamento periodontal ocurrido durante la verticalización de una segunda molar inferior utilizando estos dos métodos de anclaje?

## **II. OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Evaluar el movimiento dentario y estrés en el ligamento periodontal durante la verticalización de una segunda molar inferior utilizando dos métodos de anclaje: un estudio de elementos finitos.

### **Objetivos específicos:**

1. Determinar movimiento dentario de angulación en sentido sagital (o mesio-distal) de una segunda molar inferior con anclaje convencional.
2. Determinar movimiento dentario de angulación en sentido sagital (o mesio-distal) de una segunda molar inferior con anclaje esquelético.
3. Determinar movimiento dentario de extrusión en sentido vertical (u ocluso-gingival) de una segunda molar inferior con anclaje convencional.
4. Determinar movimiento dentario de extrusión en sentido vertical (u ocluso-gingival) de una segunda molar inferior con anclaje esquelético.
5. Determinar el estrés en el ligamento periodontal de una segunda molar inferior con anclaje convencional.
6. Determinar el estrés en el ligamento periodontal de una segunda molar inferior con anclaje esquelético.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Diseño del estudio**

Estudio de elementos finitos.

#### **Unidad de análisis**

Una tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) de paciente atendido en el Servicio de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar del Centro Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia en el año 2024. Esta selección será no probabilística por conveniencia considerando los criterios de selección.

#### **Criterios de selección**

Criterios de inclusión: Una tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) de paciente atendido en el Servicio de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar del Centro Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia en el año 2024. La imagen tomográfica debe presentar la segunda molar mandibular mesioangulada, ausencia de la primera molar mandibular.

Criterios de exclusión: como alteraciones en tamaño y forma de las piezas dentales, presencia de enfermedad periodontal, presencia de reabsorciones radiculares.

## **Operacionalización de variables:**

### Variables dependientes:

Angulación: se define como la abertura que conforman dos lados que parten de un punto en común. Operacionalmente, es la distancia entre la posición final a la inicial medido entre los puntos de referencia del modelo matemático del diente en un plano sagital. Es una variable cuantitativa, continua y de razón. Su medida estará dada en grados.

Extrusión: se define como el movimiento vertical de un diente mediante la aplicación de fuerzas de tracción en su ligamento periodontal. Operacionalmente, es la distancia entre la posición final a la inicial medido entre los puntos de referencia del modelo matemático del diente visto desde un plano sagital. Es una variable cuantitativa, continua y de razón. Su medida estará dada en milímetros.

Estrés en el ligamento periodontal: se define como la tensión y compresión producida en el ligamento periodontal de un diente como consecuencia de la aplicación de fuerzas ortodónticas. Operacionalmente, es el valor máximo de tensión encontrado en el ligamento periodontal durante el movimiento la verticalización. Es una variable cuantitativa, continua y de razón. Su medida estará dada en Mega Pascal (MPa).

### Variable independiente

Método de anclaje: el anclaje es la resistencia al movimiento que presentan dientes ante la aplicación de una fuerza, y existen dos métodos de anclaje, los cuales son el anclaje convencional sobre una unidad dental y el anclaje esquelético usando miniimplantes. Operacionalmente, es el tipo de anclaje utilizado en la simulación matemática para la verticalizar una molar mesioangulada, ya sea con anclaje convencional o esquelético. Es una variable cualitativa, dicotómica, nominal. Sus nominaciones para el presente estudio serán método de anclaje convencional y de anclaje esquelético.

Ver cuadro de operacionalización de variables (Anexo 1).

### **Técnicas y procedimientos**

#### Técnica

Método de simulación numérica.

#### Permisos

Se solicitará el permiso correspondiente al jefe del Servicio de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar del Centro Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia para la revisión de historias clínicas. También se solicitará la revisión del

protocolo de investigación a la Unidad de Investigación de Ciencia y Tecnología (UCIT) de la Facultad de Estomatología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

### Reproducción en 3D

Se realizará dos modelos matemáticos tridimensionales, que representa a los dos métodos de anclaje convencional y anclaje esquelético. Para el proceso de construcción del modelo de elementos finitos, las imágenes de la tomografía deberán ser exportadas como un archivo DICOM (Imagen digital y de comunicaciones en Medicina) y convertidas en archivos STL (estereolitográficos) usando el software Mimics Research 17.0. Luego, se procederá a dar la información al Ingeniero mecánico que participará en el estudio, quien procederá a realizar el diseño de la geometría de todos los elementos. El miniimplante a utilizar será de la marca M.O.S.A.S. del Sistema DEWIMED O.S.A.S. Orthodontic Skeletal Anchorage Screw (DEWIMED, Tuttlingen, Alemania) de 7mm de longitud y 1.6mm de diámetro, con cabeza tipo botón. Las características del alambre de beta-Titanio (TMA) será de 0.017x0.025” con un loop helicoidal de 2mm de diámetro, las del alambre de acero inoxidable (SS) será de forma rectangular de 0.019x0.025”, el ligamento periodontal será 0.2mm y de grosor uniforme, los brackets y tubo adhesivo serán de acero inoxidable con slot 0.022x0.028” tipo Edgewise, la resina se colocará en el espacio dejado entre el bracket/ tubo adhesivo y los dientes. Estos diseños se realizarán con el Software AutoCAD Mechanical 2017 (Autodesk Inc., San Rafael - California, Estados Unidos).

### Generación del modelo óseo

Para la generación del modelo óseo se diseñará la hemimandíbula derecha donde se colocará desde la segunda molar mesioangulada en  $45^{\circ}$  hasta el incisivo central. Estudios en 2012, de Fu y colaboradores reportaron que la angulación inicial de segundas molares impactadas estaba en un rango de  $31-60^{\circ}$  (10). Cada diente deberá estar en su correcta posición dentro del arco dental. Solo se dejará un espacio vacío de 12mm por la ausencia de la primera molar. El hueso presentará dos partes: Hueso cortical (1.5mm de grosor) y hueso trabecular o esponjoso.

### Generación del modelo de elementos finitos

Se recreará la geometría de cada uno de los elementos (miniimplante, alambre de TMA y SS, ligamento periodontal, brackets y tubo adhesivo) en un modelo 3D, mediante el Software Solidworks® 2014 SP3.0 (Dassault Systèmes, S.A., Suresnes, Francia). El módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson de los materiales que se utilizarán en la simulación (diente, ligamento periodontal, hueso cortical, hueso esponjoso, miniimplante de Titanio, brackets y tubo adhesivo de SS, resina, alambre de TMA y SS) se obtendrán de la literatura (**Anexo 2**).

### Combinación

Se procederá a hacer la combinación del modelo óseo (hueso cortical y trabecular) con los dientes y su ligamento periodontal. Luego, se realizará dos modelos de verticalización:

*Modelo 1 con anclaje convencional:*

Conformado por tejido óseo con hueso cortical y trabecular, conteniendo una segunda molar inferior, una primera y segunda premolar inferior, un canino inferior y un incisivo central y lateral inferior, todas las piezas dentarias junto con su ligamento periodontal. La segunda molar inferior estará mesioangulada 45° con respecto al plano sagital y se dejará un espacio de 12mm por ausencia de la primera molar inferior; las otras piezas dentarias se colocarán en correcta posición dentro del arco dental. Luego, se colocarán Brackets Edgewise adhiriéndose con resina en cada superficie vestibular (centro de corona anatómica) de premolares, canino e incisivos; y en la segunda molar inferior mesioangulada se colocará un tubo adhesivo Edgewise. Seguidamente, se colocará un arco de acero inoxidable (SS) de 0.019x0.025” que pasará a través de premolares, canino e incisivos. Por otro lado, en la segunda molar inferior se realizará un cantilever con un alambre de TMA de 0.017x0.025” donde un extremo será insertado dentro del tubo con un tip-back de 90°, y tendrá un loop helicoidal (2mm de diámetro) con un brazo de 20mm de longitud; el otro extremo del alambre de TMA se hará un gancho donde se retendrá en el alambre de SS a nivel de premolares. Se aplicará una fuerza de 80g, el momento aplicado es de 1600 g.mm.

### *Modelo 2 con anclaje esquelético:*

Conformado por tejido óseo con hueso cortical y trabecular, conteniendo una segunda molar inferior, una primera y segunda premolar inferior, un canino inferior y un incisivo central y lateral inferior, todas las piezas dentarias junto con su ligamento periodontal. La segunda molar inferior estará mesioangulada 45° con respecto al plano sagital y se dejará un espacio de 12mm por ausencia de la primera molar inferior; las otras piezas dentarias se colocarán en correcta posición dentro del arco dental. Se insertará un miniimplante dentro del hueso, a 8mm apical de la cresta alveolar entre la primera y segunda premolar y perpendicular a la superficie ósea. Después, se colocará un tubo Edgewise adhiriéndose con resina en la superficie vestibular (centro de corona anatómica) de la segunda molar inferior mesioangulada. Por otro lado, en la segunda molar inferior se realizará un cantilever con un alambre de TMA de 0.017x0.025” donde un extremo será insertado dentro del tubo con un tip-back de 90°, y tendrá un loop helicoidal (2mm de diámetro) con un brazo de 20mm de longitud; el otro extremo del alambre de TMA se hará un gancho donde se retendrá en la cabeza del miniimplante. Se aplicará una fuerza de 80g. El momento aplicado es de 1600g.mm. Estas combinaciones se realizarán con el software Autodesk Simulation Mechanical® 2017 (Autodesk Inc., San Rafael - California, Estados Unidos).

### Simulación

Usando el mismo software Autodesk Simulation Mechanical® 2017, se procederá

a realizar las simulaciones en cada uno de los dos métodos de anclaje ya descritos anteriormente, donde se medirá el movimiento dentario y el estrés en el ligamento periodontal del diente.

Para determinar el movimiento dentario se utilizarán varios puntos de referencia:

1- En una vista sagital: para medir la verticalización del diente se tendrá que medir la variación de la angulación.

Al inicio del movimiento se trazará una línea que pasen por estos dos puntos de referencia que son: la cúspide distal de la corona del diente y el ápice de la raíz mesial del diente. Al final del movimiento, se trazará otra línea uniendo estos mismos puntos de referencia, el resultado final será el ángulo formado entre ambas líneas. Esta medición será en grados.

2- Para medir el movimiento de extrusión de la molar en una vista sagital se debe trazar los siguientes puntos de referencia:

Se colocará como punto de referencia la cúspide distal de la corona del diente, al inicio y al final del movimiento, y después se tomará la medida entre ambos puntos. Esta medición será en milímetros.

Después de realizar las simulaciones, comenzará la recolección de datos. Para esto se hará uso de una ficha de recolección de datos que se anexará a continuación (Anexo 3).

Por otro lado, para evaluar el estrés en el ligamento periodontal se trabajará según el criterio de Von Mises, donde se cuantificará los valores de tensión y deformación con una magnitud dada en MPa, y también estará representada por una gama de colores.

En la molar mesioangulada se aplicarán los dos métodos de anclaje y se obtendrán los resultados del estrés periodontal en MPa. Estos resultados se colocarán dentro de la ficha determinando sus máximas y mínimas tensiones, y en qué lugares del diente se registraron. Paralelamente, se anexará las imágenes que indican las concentraciones de tensiones dados por colores, donde el color rojo representará las zonas de mayor tensión o deformación y el color azul las zonas de mayor presión o compresión (Anexo 4).

Después de obtener los resultados, se puede comparar cada método de anclaje y ver cuál de los dos producen menores tensiones y menores efectos secundarios indeseados.

### **Aspectos éticos del estudio**

Se solicitará el permiso correspondiente al Comité Institucional de ética (CIE) de la Universidad Peruana Cayetano Heredia debido ya que involucrará una revisión de las historias clínicas de los pacientes durante el año 2024 del Servicio de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar de la Clínica Dental Docente de la misma universidad.

## **Plan de análisis**

Luego de obtener los resultados, se recolectarán los datos en tablas descriptivas realizadas con el programa de Microsoft Excel versión 22.0. No se realizarán pruebas estadísticas debido a que el diseño de este estudio es en elementos finitos y su análisis es descriptivo y comparativo.

#### **IV. RESULTADOS ESPERADOS**

Desde un enfoque teórico, los resultados del movimiento dentario sobre la molar durante la verticalización ya sea con anclaje esquelético o convencional, van a ser similares, sin embargo, el anclaje esquelético va a resultar ser más efectivo debido a que va a tener un mejor control de los efectos secundarios sobre la unidad de anclaje. En Ortodoncia, el movimiento dentario se da por el proceso de remodelación ósea, y los factores más importantes son la magnitud de la fuerza y el estrés causado en el ligamento periodontal. Para ello, en este estudio se verá cuál es la distribución del estrés con estos dos métodos de anclaje.

De igual forma, desde un enfoque metodológico los resultados en elementos finitos son importantes ya que nos van a ayudar a analizar las reacciones dentro de la cavidad oral después de colocar diversas biomecánicas o diferentes condiciones de carga, también ayudará a obtener la información sobre los cambios de estrés en el ligamento periodontal. MEF es una técnica numérica de alta precisión asistida por computadora, no invasiva y reproducible y actualmente muy utilizada en investigación odontológica.

Finalmente, desde el enfoque clínico es importante porque se puede seleccionar las terapias biomecánicas adecuadas según nuestros pacientes, también podemos determinar la reacción de los dientes y de los tejidos de soporte como en este caso del ligamento periodontal, en algunos casos podría darse mayor estrés a nivel del cuello del diente o de la raíz, por lo que el ortodoncista deberá prestar mayor atención a una posible reabsorción radicular.

## **V. CONCLUSIONES**

Del estudio se concluye que, la mesioangulación de las molares es una situación muy común en la práctica clínica ortodóntica. Es por ello que, es importante conocer la magnitud del movimiento dentario con el método de verticalización a utilizar durante el tratamiento ortodóntico, con menos efectos secundarios y menos estrés periodontal que pueda comprometer la permanencia de la pieza a tratar. MEF es una herramienta muy útil que puede resolver los diversos dilemas en odontología y también permite conocer el comportamiento de las diferentes biomecánicas, sin embargo sus resultados numéricos requieren de una adecuada interpretación, debido a que la información incorporada en el modelado se basan en condiciones clínicas adaptadas que no llegan a ser totalmente iguales, pero que permite una evaluación manejable de los parámetros de investigación, los cuales se pueden controlar de manera precisa, además que, se ha demostrado su utilidad en varios estudios.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sawicka M, Racka-Pilszak B, Rosnowska-Mazurkiewicz A. Uprighting Partially Impacted Permanent Second Molars. *Angle Orthodontist*. 2007;77(1):148-154.
2. Barros SE, Faria J, Jaramillo-Cevallos K, Chiqueto K, Machado L, Noritomi P. Torqued and conventional cantilever for uprighting mesially impacted molars: A 3-dimensional finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2022;162:e203-e215
3. Herrera F, Dutra PB, Ferreira MB, Salvatore KM, Castanha JF. Mesiodistal dental movement toward remodeled edentulous alveolar ridge: Digital model assessment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017;152:58-65.
4. Mah SJ, Won PJ, Nam JH, Kim EC, Kang YG. Uprighting mesially impacted mandibular molars with 2 miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2015;148(5):849-61.
5. Nienkemper M, Pauls A, Ludwig B, Wilmes B, Drescher D. Preprosthetic Molar Uprighting Using Skeletal Anchorage. *J Clin Orthod*. 2013;47(7):433-37.
6. Sakima T. Alternativas Mecanicas na verticalizacao de molares. *Sistemas*

de força liberados pelos aparelhos. Rev Dental Press. 1999;4(1):79-100.

7. Zheng B, Ran J, He J, Ali Mohammed Al-Yafrusee ES, Zhao Y, Liu Y. Three-dimensional finite element analysis of the uprighting movement of mandibular mesially inclined second molars. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2024;165:314-20.
8. Sohn BW, Choi JH, Jung SN, Lim KS. Uprighting Mesially Impacted Second Molars with Miniscrew Anchorage. J Clin Orthod. 2007;41(2):94-7.
9. Kojima Y, Mizuno T, Fukui H. A numerical simulation of tooth movement produced by molar uprighting spring. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007;132(5):630-8.
10. Fu PS, Wang JC, Wu YM, Huang TK, Chen WC, Tseng YC, *et al.* Impacted mandibular second molars: A retrospective study of prevalence and treatment outcome. Angle Orthod. 2012;82(4):670-5.

## VII. PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

### Presupuesto

MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Lapiceros	1	3.00	3.00
Cuaderno de notas	1	5.00	5.00
Miniimplante	1	150.00	150.00
Tubo adhesivo Edgewise	1	20.00	20.00
Brackets Edgewise	1	50.00	50.00
Alambre de SS 0.019x0.025"	1	5.00	5.00
Alambre de TMA 0.017x0.025"	1	20.00	20.00
Gastos de Ingeniero			4500.00
<b>TOTAL</b>			<b>4753.00</b>

### Cronograma

Actividades	Agosto 2024	Setiembre 2024	Octubre 2024	Noviembre 2024	Diciembre 2024	Enero 2025
Presentación del protocolo	X					
Aceptación del protocolo		X				
Recojo de datos			X			
Procesamiento de datos				X		
Análisis de datos					X	
Informe final						X

## ANEXOS

### Anexo 1. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO	CATEGORÍA O ESCALA	VALORES
Angulación (Variable dependiente)	Es la abertura que conforman dos lados que parten de un punto en común.	Distancia entre la posición final a la inicial medido entre los puntos de referencia del modelo matemático del diente en un plano sagital.	Cuantitativa	Continua De Razón	Grados (°)
Extrusión o desplazamiento vertical (Variable dependiente)	Es el movimiento vertical de un diente mediante la aplicación de fuerzas de tracción en su ligamento periodontal.	Distancia entre la posición final a la inicial medido entre los puntos de referencia del modelo matemático del diente visto desde un plano sagital.	Cuantitativa	Continua De Razón	Milímetros (mm)
Estrés en el ligamento periodontal (Variable dependiente)	Es la tensión y compresión producida en el ligamento periodontal de un diente como consecuencia de la aplicación de fuerzas ortodónticas.	Valor máximo de tensión encontrado en el ligamento periodontal durante el movimiento la verticalización.	Cuantitativa	Continua De Razón	Mega Pascal (MPa)
Métodos de anclaje (Variable independiente)	Es la resistencia al movimiento que presentan dientes ante	Tipo de anclaje utilizado en la simulación matemática para la	Cualitativa	Dicotómica Nominal	1. Anclaje convencional

	la aplicación de una fuerza, y existen dos métodos de anclaje, los cuales son el anclaje convencional sobre una unidad dental y el anclaje esquelético usando miniimplantes.	verticalizar una molar mesioangulada, ya sea con anclaje convencional o esquelético			2. Anclaje esquelético
--	--	---	--	--	------------------------

**Anexo 2. Propiedades mecánicas de los materiales usados en el estudio**

MÓDULO DE YOUNG Y COEFICIENTE DE POISSON DE VARIOS MATERIALES		
MATERIALES	MÓDULO DE YOUNG (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
Diente	19600	0.30
Ligamento periodontal	710	0.40
Hueso cortical	13700	0.26
Hueso trabecular	1370	0.31
Acero inoxidable SS	200000	0.31
TMA	69000	0.30
Titanio	96000	0.36
Resina	11721	0.21

**Anexo 3. Ficha de recolección de datos**

	ESTRÉS PERIODONTAL		MOVIMIENTO DENTARIO	
MÉTODO DE ANCLAJE	MÁXIMA TENSIÓN	MÍNIMA TENSIÓN	ANGULACIÓN	EXTRUSIÓN
ANCLAJE CONVENCIONAL				
ANCLAJE ESQUELÉTICO				

**Anexo 4. Ficha de recolección de datos**

DISTRIBUCIÓN DE ESTRÉS DEL LIGAMENTO PERIODONTAL		
MÉTODO DE ANCLAJE	ANCLAJE CONVENCIONAL	ANCLAJE ESQUELÉTICO
MÁXIMA TENSION (ROJO)		
MÍNIMA TENSION (AZUL)		