



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
ESTOMATOLOGÍA

ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DEL EFECTO BIOMECÁNICO
DE LOS DIENTES ANTEROSUPERIORES SEGÚN LONGITUDES DEL BRAZO
DE PODER DURANTE LA RETRACCIÓN EN MASA

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE BIOMECHANICAL EFFECT ON
MAXILLARY ANTERIOR TEETH ACCORDING TO POWER ARM LENGTHS
DURING EN-MASS RETRACTION

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

AUTOR

LUIS ENRIQUE PACHAS YARLEQUE

ASESOR

ROBERTO ANTONIO LEON MANCO

LIMA – PERÚ

2025

ASESOR DE TRABAJO ACADÉMICO

Mg. Esp. Roberto Antonio Leon Manco

Departamento Académico de Odontología Social

ORCID: 0000-0001-9641-1047

Fecha de Aprobación: 09 de mayo de 2025

Calificación: Aprobado

DEDICATORIA

A mis padres por su amor incondicional, a mi abuelita Lidia por su cariño infinito, a mi familia por su apoyo constante, y a mis pacientes por su confianza diaria.

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento a todos los docentes de la especialidad, quienes con su dedicación y experiencia han contribuido significativamente en mi formación profesional.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara no tener ningún conflicto de interés.

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
ESTOMATOLOGÍA

ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DEL EFECTO BIOMECÁNICO
DE LOS DIENTES ANTEROSUPERIORES SEGÚN LONGITUDES DEL BRAZO
DE PODER DURANTE LA RETRACCIÓN EN MASA

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE BIOMECHANICAL EFFECT ON
MAXILLARY ANTERIOR TEETH ACCORDING TO POWER ARM LENGTHS
DURING EN-MASSE RETRACTION

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

AUTOR

LUIS ENRIQUE PACHAS YARLEQUE

ASESOR

ROBERTO ANTONIO LEON MANCO

LIMA - PERÚ

2025



13% Similitud estándar

Filtros

Fuentes

Mostrar las fuentes solapadas

1	Internet	hdi.handle.net	3%
4	bloques de texto	73	palabra que coinciden
2	Internet	estudidentalbarcelona.com	2%
4	bloques de texto	57	palabra que coinciden
3	Internet	www.coursehero.com	2%
5	bloques de texto	48	palabra que coinciden

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
Resumen	
Abstract	
I. Introducción	1
II. Objetivos	3
III. Materiales y métodos	5
IV. Resultados esperados	13
V. Conclusiones	14
VI. Referencias bibliográficas	15
VII. Presupuesto y cronograma	18
Anexos	

RESUMEN

Introducción: La retracción de los dientes anterosuperiores tras la extracción de primeros premolares constituye una estrategia terapéutica frecuente en ortodoncia, particularmente en pacientes con biprotrusión o maloclusiones Clase II que requieren control absoluto del anclaje. El uso de mini-implantes ha optimizado la estabilidad de los dientes posteriores durante el cierre de espacios, permitiendo un mayor control biomecánico. **Objetivo:** Analizar el comportamiento biomecánico de los dientes anterosuperiores mediante simulaciones computacionales basadas en el método de elementos finitos, evaluando el efecto de distintas alturas del brazo de poder en combinación con dos prescripciones de brackets (Roth y MBT), dos ubicaciones de mini-implantes y dos tipos de material del arco ortodóntico (acero inoxidable y TMA). **Materiales y métodos:** Se llevará a cabo un estudio prospectivo, experimental y computacional, utilizando modelos tridimensionales que incluirán dientes, mini-implantes y arcos ortodónticos. Se considerarán como variables la altura del brazo de poder (variable independiente), el comportamiento biomecánico de los dientes anterosuperiores (variable dependiente) y, como covariables, la prescripción de brackets, la ubicación del mini-implante y el material del arco ortodóntico. **Conclusiones:** Se espera que los resultados proporcionen evidencia cuantitativa comparativa que contribuya a optimizar la planificación clínica de tratamientos ortodónticos que requieran retracción en masa asistida con anclaje esquelético, favoreciendo el control tridimensional del movimiento dentario.

Palabras clave: Ortodoncia, Métodos de Anclaje en Ortodoncia, Cierre del Espacio Ortodóntico, Aparatos Ortodónticos Fijos

ABSTRACT

Introduction: The retraction of maxillary anterior teeth following the extraction of first premolars is a common therapeutic strategy in orthodontics, particularly in patients with bimaxillary protrusion or Class II malocclusions requiring absolute anchorage control. The use of mini-implants has optimized the stability of posterior teeth during space closure, allowing for greater biomechanical control. **Objective:** To analyze the biomechanical behavior of maxillary anterior teeth through computational simulations using the finite element method, evaluating the effect of different power arm heights in combination with two bracket prescriptions (Roth and MBT), two mini-implant positions, and two types of archwire material (stainless steel and TMA). **Materials and Methods:** A prospective, experimental, and computational study will be conducted using three-dimensional models that include teeth, mini-implants, and orthodontic archwires. The power arm height will be considered as the independent variable, the biomechanical behavior of the maxillary anterior teeth as the dependent variable, and the bracket prescription, mini-implant position, and archwire material as covariables. **Conclusions:** The expected outcomes aim to provide comparative quantitative evidence that contributes to optimizing clinical planning in orthodontic treatments requiring en-masse retraction with skeletal anchorage, thereby enhancing tridimensional control of dental movement.

Keywords: Orthodontics, Anchorage Methods in Orthodontics, Space Closure, Fixed Orthodontic Appliances

I. INTRODUCCIÓN

La retracción de los dientes anterosuperiores posterior a la extracción de primeros premolares constituye una estrategia terapéutica común en ortodoncia, particularmente en pacientes con biprotusión o maloclusiones Clase II que requieren control absoluto del anclaje (1,2). Diversos estudios han evidenciado una correlación significativa entre la retracción de los incisivos superiores y los cambios estéticos faciales, como la modificación del ángulo nasolabial y la mejora de la proyección labial (3,4). La fase de retracción anterior representa un momento clave en el tratamiento, dado que durante esta etapa se busca alcanzar objetivos fundamentales como la corrección de la sobremordida, el establecimiento de relaciones caninas y molares adecuadas, así como la coincidencia de las líneas medias dentales y faciales (5).

El empleo de mini-implantes como método de anclaje absoluto ha demostrado ser más eficaz que los sistemas convencionales, con una diferencia clínicamente relevante en la conservación del anclaje (6–8). Estudios recientes han validado su efectividad no solo en la estabilidad posterior, sino también en la minimización de efectos secundarios como la reabsorción radicular (9,10). Además, la implementación de técnicas de mecánica de deslizamiento, asistidas por brazos de poder de distintas longitudes, permite ajustar de manera

predecible la dirección de las fuerzas aplicadas sobre los dientes anterosuperiores (11,12). Variables adicionales como la posición del mini-implante, el tipo de prescripción de brackets (Roth o MBT), el material del arco ortodóntico (acero inoxidable o TMA) y la altura del brazo de poder, influyen significativamente en el patrón biomecánico de movimiento (13–16). Para analizar estos fenómenos de forma precisa, el método de elementos finitos (MEF) se presenta como una herramienta indispensable, dada su capacidad para simular condiciones clínicas complejas con alta fidelidad (17).

El presente estudio se justifica en la necesidad de optimizar la planificación biomecánica en tratamientos de retracción en masa asistidos con mini-implantes, permitiendo anticipar los efectos dentarios derivados de diferentes configuraciones clínicas. Mediante la simulación computacional de distintas combinaciones de altura del brazo de poder, prescripción de brackets, ubicación del mini-implante y material del arco, se busca generar evidencia cuantitativa que sirva como referencia clínica. En este sentido, la pregunta de investigación planteada es: ¿Cómo influye la altura del brazo de poder, la ubicación del mini-implante, el tipo de prescripción de brackets y el material del arco ortodóntico en el comportamiento biomecánico de los dientes anterosuperiores durante la retracción en masa con anclaje esquelético, según un modelo de elementos finitos?

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar, mediante simulación con elementos finitos, los efectos biomecánicos producidos en los dientes anterosuperiores al aplicar diferentes longitudes del brazo de poder durante la retracción en masa con anclaje esquelético.

Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de diferentes longitudes del brazo de poder en la intrusión de los dientes anterosuperiores durante la retracción en masa con anclaje esquelético, mediante análisis de elementos finitos.
2. Determinar el efecto de diferentes longitudes del brazo de poder en la extrusión de los dientes anterosuperiores durante la retracción en masa con anclaje esquelético, mediante análisis de elementos finitos.
3. Determinar el efecto de diferentes longitudes del brazo de poder en la rotación horaria de los dientes anterosuperiores durante la retracción en masa con anclaje esquelético, mediante análisis de elementos finitos.

4. Determinar qué longitud del brazo de poder genera movimiento de traslación pura en los dientes anterosuperiores durante la retracción en masa con anclaje esquelético, utilizando análisis de elementos finitos.
5. Comparar los efectos biomecánicos generados por las prescripciones de brackets Roth y MBT durante la retracción en masa con anclaje esquelético, mediante simulación computacional.
6. Evaluar la influencia de la ubicación del mini-implante sobre el comportamiento biomecánico de los dientes anterosuperiores durante la retracción en masa, mediante análisis de elementos finitos.
7. Analizar el efecto del material del arco ortodóntico (acero inoxidable vs. TMA) sobre el patrón de movimiento de los dientes anterosuperiores durante la retracción en masa con anclaje esquelético.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

La presente investigación es de tipo experimental in silico.

Modelo

No probabilístico: Modelos matemáticos tridimensionales conformados por un modelo en tres dimensiones de la arcada superior con ausencia de primeros premolares, aparatología fija y brazos de poder con diferentes alturas

Criterios de inclusión y de exclusión

- **Criterios de inclusión:**
 - Modelo tridimensional obtenido a partir de tomografía computarizada de un paciente con oclusión Clase I esquelética y dental.
 - Modelo con overjet y overbite dentro de parámetros normativos, e incisivos superiores e inferiores ubicados en valores cefalométricos promedio.
 - Modelo basado en paciente sin antecedentes de tratamiento ortodóntico previo.

- **Criterios de exclusión:**

- Modelos que presenten alteraciones óseas, patológicas o traumáticas.
- Modelos con asimetrías dentofaciales severas.
- Modelos con anomalías de número, tamaño o forma dental.

Variables (ANEXO 1)

- **Variable independiente**

Altura de brazo de poder

Definición conceptual: Es la distancia vertical entre el arco ortodóntico y el punto de aplicación de la fuerza en el brazo de poder. Esta altura determina el ángulo y la dirección del vector de fuerza que actúa sobre los dientes anteriores, modificando la relación entre la fuerza aplicada y el centro de resistencia dentario, y condicionando así el tipo de movimiento resultante.

- **Variable dependiente**

Efecto biomecánico de los dientes anterosuperiores

Definición conceptual: Es la respuesta mecánica observada en los dientes anterosuperiores como resultado de la aplicación de una fuerza ortodóntica. Esta respuesta incluye movimientos específicos como intrusión, extrusión, rotación e inclinación, los cuales son determinados en un entorno

tridimensional mediante simulación computacional con el método de elementos finitos.

- **Covariables:**

Prescripción de Brackets:

Definición conceptual: Es el conjunto de características estructurales incorporadas en el diseño de los brackets, como el torque, la angulación y el espesor de la base, que influyen en la dirección y magnitud de la fuerza transmitida al diente. Estas diferencias biomecánicas pueden modificar el comportamiento del sistema ortodóntico ante una misma aplicación de fuerza.

Ubicación del mini implante:

Definición conceptual: Es la posición anteroposterior del mini-implante en el maxilar superior, determinada por su inserción entre piezas dentarias específicas. En este estudio, se evaluará el comportamiento biomecánico al ubicar el mini-implante en dos posiciones distintas: entre el segundo premolar y el primer molar, y entre el primer molar y el segundo molar. Esta variable influye en el ángulo del vector de fuerza aplicado durante la retracción en masa, lo que puede modificar el patrón de movimiento de los dientes anterosuperiores.

Material del arco ortodóntico:

Definición conceptual: Es el tipo de aleación utilizada en el arco rectangular que conecta los brackets durante la retracción en masa. En este estudio, se considerarán dos materiales: acero inoxidable y TMA (aleación de titanio-molibdeno). Cada uno presenta propiedades físicas distintas, como el módulo de elasticidad y la flexibilidad, que afectan la forma en que se transmite y distribuye la fuerza aplicada sobre los dientes anterosuperiores.

Procedimientos y técnicas

- **Permisos**

Se solicitará la revisión del protocolo de investigación por parte de la Unidad de Investigación de Ciencia y Tecnología (UCIT) de la Facultad de Estomatología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y se esperará su autorización para la ejecución.

- **Procedimientos**

Se empleará una tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) de un paciente menor de 30 años con clase I esquelética y dental, overjet y overbite

adecuados, e incisivos posicionados conforme a los valores cefalométricos promedio. El modelo será procesado junto con un ingeniero mecánico utilizando el software AutoCAD® Mechanical para realizar el análisis estructural por elementos finitos.

El método de elementos finitos (MEF) permitirá simular el comportamiento biomecánico de las estructuras dentarias frente a fuerzas ortodónticas. Este método consiste en dividir una estructura compleja en pequeños elementos con propiedades físicas asignadas, como el módulo de elasticidad, para evaluar su respuesta frente a estímulos externos. Esta herramienta permite controlar el entorno simulado y obtener resultados reproducibles y comparables.

El modelo 3D incluirá los dientes anterosuperiores (incisivos y caninos), el segundo premolar, el primer molar y el segundo molar, omitiendo el primer premolar. Los brackets de prescripción Roth y MBT serán colocados sobre los dientes anteriores, adheridos a un arco continuo de acero inoxidable calibre 0.019 x 0.025”, sin holgura con el slot. Este arco se modelará también con material alternativo (TMA) como parte de la evaluación de la covariable material del arco ortodóntico.

Se representará el ligamento periodontal mediante una cubierta de 0.25 mm de espesor alrededor de las raíces dentales. Las propiedades mecánicas de

todos los materiales se definirán como homogéneas, isotrópicas y linealmente elásticas, con base en datos publicados (Anexo 2).

Los mini-implantes tendrán diseño cónico, autoperforante, con una longitud de 7 mm y diámetro de 1.6 mm. La inserción se simulará en dos ubicaciones distintas como parte de la covariable ubicación del mini-implante: (1) entre el segundo premolar y el primer molar, y (2) entre el primer molar y el segundo molar. La colocación será a 90° respecto a la superficie ósea, a 1 mm por debajo de la unión mucogingival, alcanzando la zona transmucosa del tornillo.

Se aplicará una fuerza de retracción de 300 gramos, siguiendo las recomendaciones clásicas, simulada mediante vectores desde la cabeza del mini-implante hacia el brazo de poder.

Se generarán múltiples escenarios combinando todas las variables del estudio:

- Seis alturas de brazo de poder: -1 mm, 1 mm, 3 mm, 6 mm, 9 mm y 12 mm (variable independiente).
- Dos prescripciones de brackets: Roth y MBT (covariable 1).
- Dos ubicaciones del mini-implante: entre segundo premolar y primer molar, y entre primer molar y segundo molar (covariable 2).
- Dos materiales del arco: acero inoxidable y TMA (covariable 3).

Estas combinaciones permitirán evaluar, mediante análisis de elementos finitos, los efectos biomecánicos generados sobre los dientes anterosuperiores en cuanto a intrusión, extrusión, rotación y traslación pura.

Plan de análisis

Los datos obtenidos de las simulaciones computacionales mediante el método de elementos finitos serán organizados en tablas para facilitar su interpretación. Se evaluarán los desplazamientos tridimensionales de los dientes anterosuperiores (movimiento vestibular, lingual, intrusión, extrusión, rotación y traslación) bajo cada combinación experimental de variables.

Se realizará un análisis descriptivo de los patrones de movimiento observados en función de las diferentes alturas del brazo de poder, prescripciones de brackets, ubicaciones de mini-implantes y materiales de arco ortodóntico. Los resultados serán analizados de manera comparativa para identificar las configuraciones que generen movimientos más controlados y predecibles, según los objetivos biomecánicos planteados.

Consideraciones éticas

El presente estudio no involucra la participación directa de seres humanos ni la recolección de datos clínicos personales, dado que se basa en simulaciones computacionales a partir de modelos tridimensionales anónimos. No obstante, se garantizará el respeto a los principios éticos de la investigación científica.

La tomografía utilizada para la construcción del modelo 3D corresponde a un archivo radiológico preexistente, de uso académico, que no contiene información identificatoria del paciente. Se cumplirá con las normativas de confidencialidad y anonimato vigentes, de acuerdo con los principios establecidos en la Declaración de Helsinki para investigaciones biomédicas.

Asimismo, el protocolo será presentado a la Dirección Universitaria de Asuntos Regulatorios de la Investigación (DUARI) de la universidad, con el fin de obtener la aprobación correspondiente antes de la ejecución del estudio.

IV. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que los diferentes escenarios de simulación muestren variaciones significativas en el comportamiento biomecánico de los dientes anterosuperiores en función de la altura del brazo de poder, la prescripción de brackets, la ubicación del mini-implante y el material del arco ortodóntico.

Particularmente, se anticipa que alturas mayores del brazo de poder se asocien a movimientos más controlados y cercanos a la traslación pura, mientras que alturas menores generen mayor rotación e intrusión no deseada. Asimismo, se prevé que la ubicación más distal del mini-implante y el uso de arcos de acero inoxidable proporcionen un control biomecánico más estable en comparación con el TMA.

Los resultados del análisis permitirán establecer recomendaciones clínicas orientadas a optimizar la mecánica de retracción en masa en tratamientos ortodónticos con anclaje esquelético.

V. CONCLUSIONES

El presente proyecto propone un modelo de análisis biomecánico que integra múltiples variables críticas en el tratamiento ortodóntico de retracción en masa asistido con anclaje esquelético. A través del método de elementos finitos, se pretende generar evidencia cuantitativa que oriente la selección de las condiciones biomecánicas más favorables para lograr un movimiento dental tridimensionalmente controlado.

Este estudio contribuirá a la mejora de la planificación clínica en ortodoncia, favoreciendo decisiones basadas en principios biomecánicos sólidos y en la personalización de los tratamientos según las características específicas de cada caso.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sung SJ, Jang GW, Chun YS, Moon YS. Effective en-masse retraction design with orthodontic mini-implant anchorage: a finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(5):648-57
2. Jung MH, Kim TW. Biomechanical considerations in treatment with miniscrew anchorage. Part 1: the sagittal plane. *J Clin Orthod.* 2008;42(2):79-83
3. Alkadhi RM, Finkelman MD, Trotman CA, Kanavakis G. The role of lip thickness in upper lip response to sagittal change of incisor position. *Orthod Craniofac Res.* 2019;22(1):53-7
4. Baek ES, Hwang S, Choi YJ, Roh MR, Nguyen T, Kim KH, Chung CJ. Quantitative and perceived visual changes of the nasolabial fold following orthodontic retraction of lip protrusion. *Angle Orthod.* 2018;88(4):465-73
5. Antoszevska-Smith J, Sarul M, Łyczek J, Konopka T, Kawala B. Effectiveness of orthodontic miniscrew implants in anchorage reinforcement during en-masse retraction: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151(3):440-5
6. Upadhyay M, Yadav S, Patil S. Mini-implant anchorage for en-masse retraction of maxillary anterior teeth: a clinical cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134(6):803-10
7. Victor D, Prabhakar R, Karthikeyan MK, Saravanan R, Vanathi P, Vikram NR, Reddy PA, Sudeepthi M. Effectiveness of mini implants in three-

- dimensional control during retraction - a clinical study. *J Clin Diagn Res.* 2014 ;8(2):227-32
8. Marassi C, Marassi C. Mini-implant assisted anterior retraction. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial.* 2008;13(5):57-74
 9. Barros SE, Janson G, Chiqueto K, Baldo VO, Baldo TO. Root resorption of maxillary incisors retracted with and without skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151(2):397-406
 10. Jayaratne YSN, Uribe F, Janakiraman N. Maxillary incisors changes during space closure with conventional and skeletal anchorage methods: a systematic review. *J Istanb Univ Fac Dent.* 2017;2;51(3 Suppl 1):S90-S101.
 11. Tominaga JY, Ozaki H, Chiang PC, Sumi M, Tanaka M, Koga Y; et al. Effect of bracket slot and archwire dimensions on anterior tooth movement during space closure in sliding mechanics: a 3-dimensional finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146(2):166-74
 12. Upadhyay M, Yadav S, Nanda R. Biomechanics of incisor retraction with mini-implant anchorage. *J Orthod.* 2014;41 Suppl 1:S15-23
 13. Sia S, Shibazaki T, Koga Y, Yoshida N. Experimental determination of optimal force system required for control of anterior tooth movement in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 ;135(1):36-41
 14. Tominaga JY, Chiang PC, Ozaki H, Tanaka M, Koga Y, Bourauel C, et al. Effect of play between bracket and archwire on anterior tooth movement in sliding mechanics: A three-dimensional finite element study. *J Dent Biomech.* 2012;3:1758736012461269

15. Song JW, Lim JK, Lee KJ, Sung SJ, Chun YS, Mo SS. Finite element analysis of maxillary incisor displacement during en-masse retraction according to orthodontic mini-implant position. Korean J Orthod. 2016;46(4):242-52
16. Hedayati Z, Shomali M. Maxillary anterior en masse retraction using different antero-posterior position of mini screw: a 3D finite element study. Prog Orthod. 2016;17(1):31
17. Parashar A, Aileni KR, Rachala MR, Shashidhar NR, Mallikarjun V, Parik N. Torque Loss in En-Masse Retraction of Maxillary Anterior Teeth Using Miniimplants with Force Vectors at Different Levels: 3D FEM Study. J Clin Diagn Res. 2014;8(12):77-80

VII. PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

Presupuesto

	Precio
Tomografía computarizada Cone Beam (CBCT) en la clínica dental de la UPCH sede Salaverry	S/ 255
Mini-implante a reproducir marca Morelli	S/ 120
Juego de brackets MBT y Roth American Orthodontics a reproducir	S/ 250
Tubos adhesivos de 1ras y 2das molares superiores	S/ 96
Servicios del ingeniero	S/ 1500
Utilería	S/ 50
Movilidad	S/ 100
Total	S/ 2371

Cronograma

2025												
MES	AGOSTO				SETIEMBRE				OCTUBRE			
SEMANA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	
Toma de CBCT	X											
Diseño en AutoCad del maxilar, mini-implante, brackets y arco con brazos de poder		X	X	X								
Ejecución del análisis en elementos finitos					X	X						
Procesamiento de datos y resultados							X	X				
Elaboración de discusión y conclusiones									X			
Elaboración del informe final										X	X	

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de variables

Identificación	Definición conceptual	Tipo	Dimensiones o categorías	Indicadores	Escalas medición
Comportamiento biomecánico de los dientes anterosuperiores (Variable dependiente)	Cambio en la posición tridimensional de los dientes anterosuperiores tras la retracción en masa	Cuantitativa	Vestibularización, lingualización, intrusión, extrusión, retracción, traslación	Cuantificación numérica mediante elementos finitos	Intervalo
Longitudes de brazo de poder (Variable independiente)	Medida de la distancia vertical desde el arco hasta el punto de aplicación de la fuerza	Cuantitativa	-1 mm, 1 mm, 3 mm, 6 mm, 9 mm, 12 mm	Valores asignados	Razón
Prescripción de brackets (Covariable)	Conjunto de valores de torque, angulación e inclinación específicos al diseño del slot del bracket	Cualitativa	Roth American Orthodontics (EEUU), MBT American Orthodontics (EEUU)	Prescripción indicada por el fabricante	Nominal
Ubicación del mini-implante (Covariable)	Localización anteroposterior del mini-implante en el maxilar superior	Cualitativa	Entre segundo premolar y primer molar / Entre primer molar y segundo molar	Sitio de inserción simulado en el modelo	Nominal
Material del arco ortodóntico (Covariable)	Tipo de aleación utilizada en el arco ortodóntico, la cual influye en la transmisión de fuerzas	Cualitativa	Acero inoxidable / TMA (Titanio-Molibdeno)	Composición del arco definido en el modelo digital	Nominal

Anexo 2. Propiedades mecánicas asignadas en el análisis de elementos finitos

Material	Módulos elásticos E (GPa)	Radio
Hueso trabecular	1.5	0.30
Hueso cortical	14.7	0.30
Diente	20.7	0.30
Mini-implante	114	0.34
LPD	6.89×10^{-5}	0.45
Acero inoxidable	1931	0.29
TMA	69	0.30

Anexo 3. Ficha AD-HOC de recolección de datos

Ficha AD-HOC

TÍTULO DEL ESTUDIO: "ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DEL EFECTO BIOMECÁNICO DE LOS DIENTES ANTEROSUPERIORES SEGÚN LONGITUDES DEL BRAZO DE PODER DURANTE LA RETRACCIÓN EN MASA"

FICHA DE REGISTRO DE DATOS

Código del Participante: _____

Fecha de Nacimiento: ____/____/____ Edad: ____ Sexo: Masculino Femenino

Ubicación del mini-implante:

- Entre segundo premolar y primer molar
- Entre primer molar y segundo molar

Material del arco ortodóntico:

- Acero inoxidable
- TMA (Titanio-Molibdeno)

Prescripción Roth

Altura del brazo de poder	Vestibularización (mm)	Lingualización (mm)	Intrusión (mm)	Extrusión (mm)	Traslación (mm)	Retracción (mm)
-1 mm						
1 mm						
3 mm						
6 mm						
9 mm						
12 mm						

Prescripción MBT

Altura del brazo de poder	Vestibularización (mm)	Lingualización (mm)	Intrusión (mm)	Extrusión (mm)	Traslación (mm)	Retracción (mm)
-1 mm						
1 mm						
3 mm						
6 mm						
9 mm						
12 mm						