



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
ESTOMATOLOGÍA

TENDENCIA DE DESPLAZAMIENTO DEL CANINO SUPERIOR
DURANTE LA ACTIVACIÓN DEL TORQUE CON UN SISTEMA
DE ALINEADORES: MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

DISPLACEMENT TENDENCY OF THE UPPER CANINE
DURING TORQUE ACTIVATION WITH AN ALIGNER SYSTEM:
FINITE ELEMENT METHOD

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

AUTOR

MANUEL SAUL VICENTE COASACA CURACA

ASESOR

CARLOS YURI LIÑAN DURAN

LIMA – PERÚ

2024

ASESOR DE TRABAJO ACADÉMICO
ASESOR

Mg. Esp. Carlos Yuri Liñan Duran

Departamento Académico Estomatológico del Niño y del Adolescente

ORCID: 0000-0003-2669-842X

Fecha de aprobación: 04 de julio de 2024

Calificación: Aprobado

DEDICATORIA

A mi querida familia en especial a mi compañera de vida.

AGRADECIMIENTO

A la plana docente del Post grado Estomatología de la Universidad Peruana
Cayetano Heredia.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

TENDENCIA DE DESPLAZAMIENTO DEL CANINO SUPERIOR DURANTE LA ACTIVACIÓN DEL TORQUE CON UN SISTEMA DE ALINEADORES: MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

ORIGINALITY REPORT

16% SIMILARITY INDEX	16% INTERNET SOURCES	1% PUBLICATIONS	8% STUDENT PAPERS
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------------------

PRIMARY SOURCES

1	eprints.uanl.mx Internet Source	6%
2	repositorio.uigv.edu.pe Internet Source	6%
3	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Student Paper	1%
4	www.ortodoncia.ws Internet Source	1%
5	www.researchgate.net Internet Source	<1%
6	lasa.international.pitt.edu Internet Source	<1%
7	www.scielo.org.pe Internet Source	<1%
8	auto.vogel.com.cn Internet Source	<1%

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
Resumen	
Abstract	
I. Introducción	1
II. Objetivos	4
III. Materiales y métodos	5
IV. Resultados esperados	12
V. Conclusiones	13
VI. Referencias bibliográficas	14
VII. Presupuesto y cronograma	16
Anexos	18

RESUMEN

Introducción: En un tratamiento de ortodoncia el óptimo posicionamiento de los caninos superiores es crucial para resultados estéticos y funcionales, con esa finalidad, los alineadores invisibles y los aditamentos accesorios están diseñados para proporcionar control del movimiento de torque durante su uso; y para comprender la biomecánica, el Método de Elementos Finitos (MEF) es la herramienta para analizar y validar sus propiedades. **Objetivo:** Evaluar la tendencia de desplazamiento del canino superior durante la activación de torque con un sistema de alineadores dentales, mediante MEF. **Materiales y Métodos:** A partir de una tomografía, se utilizará el MEF para el modelamiento de un canino superior derecho, ligamento periodontal, tejido óseo (Software Slicer 4.8.2). Adicionalmente se modelará un sistema de alineadores dentales con sus aditamentos para producir torque (enmallados tipo Shell). Se modificará el grosor de la lámina del alineador (0.5mm y 0.75mm) y la posición de los aditamentos rectangulares (Centro de cara vestibular, $\pm 0.5\text{mm}$, $\pm 1\text{mm}$). Se simularán activaciones del torque (Software ANSYS 18.2) y se relacionará la asociación entre el desplazamiento del canino superior derecho con el grosor de la lámina del alineador; el diseño y posición de los aditamentos. **Resultados esperados:** El grosor de la lámina del alineador, el diseño y posición de aditamentos; afectan la expresión del torque en un canino superior derecho. **Conclusiones:** El MEF permite la comprensión de los efectos biomecánicos de los materiales y del comportamiento de las estructuras biológicas, durante la expresión del torque en un canino superior con el uso de los alineadores.

Palabras clave: Ortodoncia, torque, alineadores, análisis de elementos finitos.

ABSTRACT

Introduction: In orthodontic treatment, the optimal positioning of the upper canines is crucial for aesthetic and functional results. To this end, invisible aligners and accessory attachments are designed to provide control of torque movement during use; and to understand biomechanics, the Finite Element Method (FEM) is the tool to analyze and validate its properties. **Objective:** To evaluate the displacement tendency of the upper canine during torque activation with a dental aligner system, using FEM. **Materials and Methods:** From a tomography, the FEM will be used to model an upper right canine, periodontal ligament, bone tissue (Slicer Software 4.8.2). Additionally, a system of dental aligners will be modeled with their attachments to produce torque (Shell type meshes). The thickness of the aligner sheet will be modified (0.5mm and 0.75mm) and the position of the rectangular attachments (Center of buccal face, $\pm 0.5\text{mm}$, $\pm 1\text{mm}$). Torque activations will be simulated (ANSYS 18.2 Software) and the association between the displacement of the upper right canine and the thickness of the aligner blade will be related; the design and position of the attachments. **Expected results:** The thickness of the aligner sheet, the design and position of attachments; affect the expression of torque in an upper right canine. **Conclusions:** The FEM allows the understanding of the biomechanical effects of materials and the behavior of biological structures, during the expression of torque in an upper canine with the use of aligners.

Keywords: Orthodontics, torque, aligners, finite element analysis.

I. INTRODUCCIÓN

Un factor para tener un resultado estético y funcional en el tratamiento de ortodoncia, es el óptimo posicionamiento final de los caninos superiores, La aplicación de fuerzas en ortodoncia tienen como objetivo principal mover las unidades o grupo de dientes dentro del hueso hacia esa posición ideal, por ello los sistemas de ortodoncia deben brindar precisión y predictibilidad en la biomecánica aplicada para el control del torque durante el movimiento de la raíz y la corona dental (1).

En la ortodoncia moderna, una de las mayores demandas en los pacientes es la comodidad y el deseo de evitar el uso de aparatología invasiva. La ortodoncia invisible o los alineadores dentales son la opción que brinda la posibilidad de evitar el uso de brackets y alambres para mover los dientes (2, 3). Desde su aparición en el ámbito profesional a finales de los años 90, los alineadores comenzaron a corregir o tratar pequeñas irregularidades en la posición de los dientes; con el tiempo y su mayor desarrollo fueron ampliando su rango de trabajo a casos cada vez más complejos, hoy por hoy tienen pocas limitantes para ser utilizados (4, 5).

Como regla general los estudios en predictibilidad indican que los alineadores consiguen alinear y nivelar los arcos con buena predictibilidad. Los movimientos de intrusión en dientes anteriores e inclinación buco-lingual en posteriores son relativamente predecibles. Finalmente, la extrusión de dientes anteriores, las rotaciones y la mejora de inclinación anterior son más problemáticas (6).

Debido a la baja y/o variable predictibilidad de movimientos con los alineadores, los ortodoncistas le deben confiar el éxito en el tratamiento a su propia experiencia con el uso de estos sistemas y al bajo nivel de análisis de la evidencia científica (6). Esta predictibilidad de resultados con los alineadores estará asociada a factores como: propiedades mecánicas del material, tipo de fabricación, grosor de la lámina o resina, aditamentos de presión utilizados, incluso el tiempo de uso por parte del paciente (7). Es por ello que analizar las propiedades mecánicas y el desempeño de los alineadores mediante el Método de Elementos Finitos (MEF), es fundamental para validar el uso y documentar los resultados que proporcionen los diversos estudios (7).

El Análisis de Elementos Finitos (MEF) tiene su base en la Ingeniería estructural y nos permite medir el grado de tensión y deformación, como respuesta a una acción exterior, de diferentes objetos sólidos. Los estudios más usados en el campo odontológico en su mayoría son pruebas mecánicas que buscan determinar la resistencia a la fractura, el comportamiento y las propiedades mecánicas de las estructuras dentales y de los materiales que se usan en los tratamientos odontológicos como por ejemplo los restaurativos, endodónticos, protésicos, ortodónticos etc. (8, 9).

La aplicación del Método de Elementos Finitos (MEF) en ortodoncia es muy amplia desde la descripción de los cambios de posición en las estructuras biológicas, el análisis de las tensiones producidas en el ligamento periodontal, el comportamiento mecánico de los sistemas de ortodoncia y el diseño de aparatología (9). Asimismo,

aplicar el método de elementos finitos en sistemas de ortodoncia permite conocer los límites de los movimientos sin la producción de daño tisular (9, 10).

El presente estudio tiene su razón de ser en la necesidad teórica y clínica de, comprender y explicar con una base científica, los efectos del uso de los alineadores en ortodoncia para obtener un deseado cambio de inclinación (torque) en el canino superior. En base a lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la tendencia de desplazamiento del canino superior durante la activación de torque con un sistema de alineadores dentales evaluado mediante método de elementos finitos?

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la tendencia de desplazamiento del canino superior durante la activación de torque con un sistema de alineadores dentales, mediante el método de elementos finitos.

Objetivos específicos

1. Comparar la tendencia de desplazamiento del canino superior durante la activación de torque con un sistema de alineadores dentales de acuerdo al grosor de la lámina.
2. Comparar la tendencia de desplazamiento del canino superior durante la activación de torque con un sistema de alineadores dentales de acuerdo al diseño de aditamentos adhesivos.
3. Comparar la tendencia de desplazamiento del canino superior durante la activación de torque con un sistema de alineadores dentales de acuerdo a la posición de aditamentos adhesivos.

III.MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Experimental in sílico, Estudio de elementos finitos.

Unidad de estudio

Se diseñará un modelo matemático 3D mediante el método de elementos finitos, que estará conformado por un canino superior derecho; proveniente de una Tomografía computarizada de haz cónico, tomada con el modelo Picasso Master, campo de visión 20 cm x19 cm, tiempo de exposición de 24 segundos, paciente con ojos abiertos, boca cerrada, sin apoyo en el mentón.

Criterios de Selección

Criterios de inclusión

- Tomografía de paciente aparentemente sano entre 18 a 30 años en dentición permanente, relación esquelética clase I, maloclusión clase I y, relación molar y canina clase I.
- Tomografía que evidencie, canino superior derecho sin ningún tipo de tratamiento.
- Tomografía que evidencie, adecuado nivel de hueso y proporción corono radicular.

Criterios de exclusión

- Mapeo deficiente de la unidad dentoalveolar del canino superior derecho.
- Mapeo deficiente de los cuatro diseños de aditamentos

Operacionalización de variables

Variables independientes

Grosor del alineador: Definida conceptualmente como el espesor de la lámina para la fabricación del alineador, operacionalmente es la dimensión estructural del modelo digital del alineador, indicador MEF, tipo cualitativa, escala nominal, valores: 0.50mm y 0.75mm.

Diseño de Aditamentos: Definida conceptualmente como la forma y tamaño de aditamentos recomendados para activar torque, operacionalmente es el modelado de estructuras accesorias para mejorar la expresión de torque, indicador MEF, tipo cualitativa, escala nominal, categorías: rectangular 3mm y rectangular 5mm.

Posición de Aditamentos: Definida conceptualmente como ubicación del aditamento, operacionalmente es posicionar los aditamentos sobre la superficie vestibular del modelo digital del canino, indicador MEF, tipo cualitativa, escala nominal, categorías: +1mm, +0.50mm, 0mm, -0.5mm y -0.1mm tomando como referencia el punto céntrico de la cara vestibular del canino.

Variable dependiente

Desplazamiento del canino central superior derecho: Definida conceptualmente como el cambio de la posición del diente, operacionalmente es la Medición de distancia entre puntos de estructuras superpuestas, indicador MEF, tipo cuantitativa, escala de razón, valores: milímetros (mm).

Cuadro de operacionalización de variables (Anexo 1)

Técnicas y procedimientos

Se solicitará permiso al Centro Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH). Para revisar las historias clínicas y las tomografías. La imagen se obtendrá por conveniencia, hasta encontrar el canino superior derecho de acuerdo a los criterios de selección.

Etapas básicas en la utilización del método de los elementos finitos

Sin importar la naturaleza física del problema el análisis de los elementos finitos es el mismo y consta de varias etapas independientemente de la naturaleza física del problema. De manera práctica la clasificación será: Pre procesamiento, procesamiento y post procesamiento (8, 11)

Pre-Procesamiento

1. Dibujo detallado de la geometría.
2. Enmallado de la geometría (generación de nodos y elementos finitos).

3. Definición de las condiciones de frontera (Hueso, LPD).
4. Aplicación de las propiedades de los materiales (Módulo de elasticidad, Límite elástico, Relación de Poisson, Densidad y otros).

Diseño de diente

Se utilizará software 3D Slicer 4.8.2 para la segmentación del canino superior derecho, ligamento periodontal de un grosor de 0.2 mm, hueso alveolar, hueso cortical. Para poder obtener resultados fidedignos de un análisis de elementos finitos del diente, ligamento periodontal y hueso alveolar, lo más importante es el procesamiento del modelado (12). Cada una de las estructuras dentarias (Esmalte, dentina, ligamento periodontal y hueso alveolar) tienen propiedades de la materia específicas, sus valores promedios están reportados en la literatura. Cada tipo de tejido se define como Homogéneo e Isotrópico (12). Propiedades de las estructuras dentarias (Anexo 2)

La imagen segmentada se modelará en el software Autodesk meshmixer para afinar el contorno como archivo de malla STL. Luego se exportará al programa Solidworks para modelar la geometría final para la simulación. La simulación por elementos finitos se realizará mediante el software ANSYS 18.2 (13)

Diseño del sistema alineador

De acuerdo a las características del fabricante, los alineadores están hechos de

Poliuretano de 0.50mm y 0.75 mm de grosor. Cada alineador está programado para producir un movimiento preciso en un diente de aproximadamente 0.25 – 0.33 milímetros. El alineador será enmallado con elementos tipo Shell para simplificar el estudio (14). El Sistema utiliza aditamentos para permitir un correcto anclaje y alcanzar los movimientos ortodóncicos deseados (15). Se diseñarán los aditamentos específicos para producir cambios en la inclinación (torque) y se colocarán a tres niveles de la superficie de la cara vestibular y/o palatina de la corona del canino superior derecho. Interacción órgano dentario y aditamento (Anexo 3).

Los aditamentos utilizados para el estudio se trabajarán en conjunto con la compañía Keepsmiling (Keepsmiling ®), donde mediante su Software se posicionarán en el lugar más preciso para generar un movimiento de inclinación. Los aditamentos que se utilizarán serán: rectangular 3 mm y Rectangular 5 mm. Se realizará el enmallado de cada uno de los componentes. Debido a la complejidad de las piezas, se utilizarán enmallados tetraédricos de segundo orden. Propiedades mecánicas de los materiales (Anexo 4).

Procesamiento

Para la primera evaluación, se determinará el diseño estructural del modelo inicial del alineador con un grosor de 0.50mm. con la activación necesaria para realizar torque en el canino superior derecho. Un segundo modelo será diseñado con un grosor de 0.75mm. con la misma activación para realizar torque en el canino superior derecho.

Para la segunda evaluación, sobre la superficie vestibular del canino superior derecho se ubicará el aditamento rectangular de 3mm y 5mm respectivamente según las especificaciones ofrecidas por el laboratorio; modificando la altura en la superficie del diente. se realizarán 5 modelos geométricos para cada categoría, en un modelo será ubicado el aditamento en el centro de la cara vestibular en los otros modelos serán ubicados cada 0.5mm hacia oclusal (2 posiciones) y hacia gingival (2 posiciones) en posición equidistante en sentido mesio-distal.

Para cada diseño y posición de los aditamentos, escogidos para ser evaluados. Los modelos geométricos finalizados, serán exportados al Software Ansys 18. La aplicación de las cargas (Fuerzas, ejercidas por el uso del alineador) se determinarán para cada modelo dentario con el modelo de alineador de 0.50mm.

Se realizará el proceso computacional de solución y simulación de movimiento dentario. Obteniendo los resultados obtenidos de tensión y compresión sobre el ligamento periodontal y de variación de la inclinación del diente para cada caso.

Plan de análisis

El desplazamiento dentario se determinará midiendo la distancia entre puntos correspondientes en la superficie del modelo del canino superior derecho, desde su localización inicial hasta la final. Para evaluar la relación entre el desplazamiento de este canino y el grosor de la lámina del alineador, así como su diseño y la posición de los aditamentos, se utilizará el análisis de correlación de Spearman

(Anexo 5). Este método nos permite medir la dependencia estadística entre estas variables. Adicionalmente, se realizará un análisis cualitativo mediante la interpretación de mapas de calor que muestran los esfuerzos en las estructuras analizadas. Todos los datos serán tabulados en Microsoft Excel versión 22.0, empleando tablas descriptivas y gráficas para una mejor visualización y análisis.

Aspectos éticos del estudio

Este proyecto requiere de la aprobación por la Dirección Universitaria de Asuntos Regulatorios de la Investigación (DUARI). La investigación in vitro no representa un riesgo personal, por lo que no será necesario redactar un consentimiento informado.

IV. RESULTADOS ESPERADOS

Desde el punto de vista teórico, el estudio permitirá conocer el comportamiento biomecánico de los alineadores sobre el diente y tejidos de soporte durante la aplicación de fuerzas, considerando el grosor, así como el diseño y la posición de aditamentos que más favorezcan el control del torque durante el desplazamiento de un canino superior derecho.

Desde el punto de vista clínico, en base a la información recolectada, se podrán tomar decisiones en base a evidencia para la correcta indicación de uso de alineadores y un adecuado uso de aditamentos para tener éxito en el control del torque del canino superior derecho. Influyendo así en la predictibilidad del su uso. De igual forma, desde un enfoque metodológico los resultados serán importantes porque relacionarán los cambios en la tendencia del desplazamiento del canino directamente a las características estructurales del alineador o del diseño y posición de los aditamentos.

V. CONCLUSIONES

Del trabajo académico se concluye que, el presente y el futuro de la ortodoncia son los alineadores invisibles, su utilización debe estar respaldada en evidencia científica válida. Para su correcta indicación y diseño, es fundamental la comprensión de los efectos biomecánicos de los materiales y aditamentos sobre el comportamiento de las estructuras biológicas; por ello el análisis de elementos finitos es la mejor forma de acercarse a experimentar la tendencia de desplazamiento de un diente sin compromiso ético considerable.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jayade V, Annigeri S, Jayade C, Thawani P. Biomechanics of torque from twisted rectangular archwires. A finite element investigation. *Angle Orthod.* 2007;77(2):214–20.
2. Proffit, W.; Fields, H.; Larson, B.; Sarver, D. *Contemporary Orthodontics.* Amsterdam: Editorial Elsevier; 2018.
3. Hong K, Kim W, Eghan-Acquah Em, Lee J, Lee B, Kim B. Efficient Design of a Clear Aligner Attachment to Induce Bodily Tooth Movement in Orthodontic Treatment Using Finite Element Analysis. *Materials* 2021, 14, 4926. <https://doi.org/10.3390/ma14174926>
4. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J.* 2017 Mar;62 Suppl 1:58-62.
5. Maspero C, Tartaglia GM. 3D Printing of Clear Orthodontic Aligners: Where We Are and Where We Are Going. *Materials.* 2020; 13(22)
6. Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM. Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *Angle Orthod.* 2014; 84:391–396.
7. Tartaglia, G.M.; Mapelli, A.; Maspero, C.; Santaniello, T.; Serafin, M.; Farronato, M.; Caprioglio, A. Direct 3D Printing of Clear Orthodontic Aligners: Current State and Future Possibilities. *Materials* 2021, 14.
8. Piccioni MA, Campos EA, Saad JR, de Andrade MF, Galvão MR, Abi Rached A. Application of the finite element method in dentistry. *RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia.* 2013;10(4):369-77.

9. Knop L, Gandini L, Lima Shintcovsk R GM. Scientific use of the finite element method in Orthodontics. *Dent Press J Orthod.* 2015;2(20):119–125.
10. Desai Shrikar R SHH. Finite Element Analysis: Basics and its applications in Dentistry. *Indian J Dent Sci.* 2012;4(1):60–4.
11. Singh JR, Kambalyal P, Jain M, Khandelwal P. Revolution in Orthodontics: Finite element analysis [Internet]. Vol. 6, *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry.* Wolters Kluwer (UK); 2016 p. 110–4.
12. Begum M S, Dinesh M R, Tan KF, Jairaj V, Md Khalid K SV. Construction of a three-dimensional finite element model of maxillary first molar and it's supporting structures. *J Pharm Bioall Sci.* 2015;(7):443–50.
13. P A. Método de los elementos finitos. Introducción a Ansys. Reimpresión 1a, editor. España: Universidad de Sevilla; 2004.
14. Align Technology. Smart Force Features. 2015. Amsterdam: Align Technology BV; :5.
15. Karkhanechi M, Chow D, Sipkin J, Sherman D, Boylan RJ, Norman RG, Craig RG, Cisneros GJ. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *Angle Orthod.* 2013 Jan;83(1):146-51.

VII. PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

Presupuesto

ACTIVIDADES	REQUERIMIENTO	Unidad de medida	Cantidad	Precio parcial	TOTAL S/.
GENERAL					
Material de escritorio	Computadora portatil	Laptop	1	2800.00	2800.00
	Impresora	Impresora	1	1200.00	1200.00
	Disco duro portátil	Disco duro	2	150.00	300.00
PLAN DE TESIS					
1. elaboración del protocolo					
Búsqueda de información	Internet	Hora	50	0.80	40.00
Redacción del protocolo	Personal de apoyo	Hora/hombre	2	1000.00	2000.00
Presentación de protocolo de investigación al Comité de Ética	Personal de apoyo	Hora/hombre	1	1000.00	1000.00
Bibliografía Impresa	Millar de Papel	Millar	3	15.00	45.00
	Impresiones x hoja	Hoja	500	0.50	250.00
2. Estructuración y procesamiento de Datos					
Pre Procesamiento de datos	Paquete informático	Unidad	1	1500.00	1500.00
Procesamiento de datos	Paquete estadístico	Unidad	1	1200.00	1200.00
Registro de datos	Digitador de datos	Global	1	1500.00	1500.00
	Internet	Horas	168	0.80	134.40
3. Redacción del Informe					
	Servicio de revisión	Global	1	2000.00	2000.00
4. Presentación del Informe					
	Impresiones x millar	Millar	1	500.00	500.00
5. Gastos administrativos					
	Trámites documentarios			1500	1500.00
TOTAL s/.					16,000.00

Cronograma

2024 ACTIVIDAD	Junio		Julio				Agosto				Setiembre			
	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4
REDACCIÓN DEL PROTOCOLO.	X	X												
REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA			X	X										
COORDINACIONES			X	X										
PRESENTACIÓN DE PROTOCOLO PARA SU APROBACIÓN				X	X	X								
RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA							X	X						
PRE PROCESAMIENTO DE DATOS								X	X					
PROCESAMIENTO DE DATOS									X	X				
REDACCIÓN FINAL DE INFORME										X	X	X		
PRESENTACIÓN FINAL DEL INFORME													X	X
SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL														X

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Tipo	Escala de Medición	Valores o Categorías
Grosor del alineador	Espesor de la lámina para la fabricación del alineador.	Dimensión estructural del modelo digital del alineador.	MEF	Cualitativa	Nominal	0.50 mm 0.75 mm
Diseño de aditamentos	Forma y tamaño de aditamentos recomendados para activar torque.	Modelado de estructuras accesorias para mejorar la expresión de torque.	MEF	Cualitativa	Nominal	Rectangular 3 mm Rectangular 5 mm
Posición de Aditamentos	Ubicación del aditamento	Posicionar los aditamentos sobre la superficie vestibular del modelo del diente.	MEF	Cualitativo	Nominal	+1 mm +0.5 mm 0 mm -0.5 mm -1 mm
Desplazamiento del canino superior derecho	Cambio de la posición del diente.	Medición de distancia entre puntos de estructuras superpuestas.	MEF	Cuantitativa	De razón	mm

Anexo 2. Propiedades de las estructuras dentarias

Material	Módulo de Young (MPa)	Coefficiente de Poisson
Esmalte	65.00	0.32
Dentina	15.00	0.28
Ligamento Periodontal	0.05	0.30
Hueso Alveolar	10	0.33

Anexo 3. Interacción órgano dentario y aditamento

Órgano Dentario	Aditamento	Fuerza
Canino superior derecho	Rectángulo 3 mm	11.821 N
	Rectángulo 5 mm	

Anexo 4. Propiedades mecánicas de los materiales.

Material	Módulo de Young (MPa)	Coefficiente de Poisson
Diente	19600.00	0.30
Alineador	528.00	0.36
Aditamento	12500	0.36

Anexo 5. Coeficiente de correlación de Spearman.

$$r_R = 1 - \frac{6\sum_i d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

- n = número de puntos de datos de las dos variables
- d_i = diferencia de rango del elemento « n »