



**GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE  
INFORMES FINALES UAM**

**CÓDIGO: GIN—GUI-001**

**VERSIÓN: 01**

**FECHA : 23/ENE/2015**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES**

**VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

**UNIDAD DE POSGRADOS**



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

### TÓPICOS PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES<sup>1</sup>

#### UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES

**ESPECIALIZACION:** Especialización en Ortodoncia y Ortopedia-Dentofacial

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN:** INSAO

**ESTUDIANTES:** Esteban Valencia Arroyave y Carlos Eduardo Mesa Benitez

**TUTOR DE TESIS:** Juan Pablo Gomez y Fabio Marcelo Peña

#### **DATOS DE IDENTIFICACIÓN:**

##### **Investigadores principales:**

Juan Pablo Gomez: C.C 10115638, correo electrónico: [jgomez@autonoma.edu.co](mailto:jgomez@autonoma.edu.co)

Fabio Marcelo Peña: C.C 19461324, Correo electrónico: [fabiomarcelop@gmail.com](mailto:fabiomarcelop@gmail.com)

##### **Coinvestigadores**

Esteban Valencia: C.C 1128268908, Correo electrónico: [evesteban1@hotmail.com](mailto:evesteban1@hotmail.com)

Carlos Eduardo Mesa: C.C 75076627, Correo electrónico: [707odontic@gmail.com](mailto:707odontic@gmail.com)

**AÑO: 2016**

---

<sup>1</sup> Formato adaptado de COLCIENCIAS. 2006



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

### 1. RESUMEN (objetivo general, metodología, resultados, conclusiones) 250 palabras

**Introducción:** El propósito de esta investigación es describir el efecto biomecánico generado al aplicar un movimiento rotacional en un canino superior derecho con un alineador plástico CON y SIN aditamentos en resina por medio de un análisis tridimensional en elementos finitos. **Metodología:** A partir del CAD del canino superior derecho, ligamento periodontal y el alineador plástico termoformado se desarrollaron 4 modelos de elementos finitos (M.E.F.) para simular la mecánica de desrotación en casos de apiñamiento dental, CON y SIN aditamentos de complementación biomecánica en resina. En el modelo 1 se pretendió determinar la rigidez a la rotación del LPD, simultáneamente se realizó otra simulación con el objetivo de determinar la rigidez del LPD a las cargas intrusivas. En el modelo 2 Se pretendió evaluar la tendencia intrusiva del canino ante la rotación SIN aditamentos y sin LPD. La simulación final (modelo 3 y 4) pretendió ver el resultado agregado de los anteriores, simulando el verdadero escenario clínico y determinar el desplazamiento del canino tomando en cuenta tanto la tendencia intrusiva que genera la placa como la rigidez del LPD. **Resultados:** Gracias a los modelos desagregados, se realizó la simulación del modelo completo CON y SIN aditamentos (modelo 3 y 4) lanzando los siguientes resultados: 1) la carga intrusiva que se ejerce sobre el LPD CON y SIN aditamentos en resina evidencio que la relación o cociente de la carga intrusiva SIN aditamentos es 3,71 veces mayor que CON aditamentos. 2) El desplazamiento del canino en el eje Y, CON y SIN aditamentos en resina evidencio que la relación o cociente es 2,5 veces mayor SIN aditamentos que CON aditamentos en resina y finalmente 3) el “rezago” que presenta la rotación del canino sobre la placa, al realizar una rotación de 4° SIN aditamentos el canino se “retrasa” con respecto a la placa un 28% al finalizar el movimiento, lo que corresponde a 1,12°. Y CON aditamentos el canino solo se “retrasa” 5% al finalizar el movimiento. **Conclusiones:** Durante la rotación del canino con alineador plástico termoformado, se generan vectores intrusivos sobre el diente.



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

Durante la rotación del canino con alineador plástico termoformado se presenta un rezago entre la rotación de la placa y la rotación resultante del diente. Los aditamentos de complementación biomecánica reducen significativamente tanto el efecto intrusivo durante la rotación, como el rezago entre diente y placa.

**PALABRAS CLAVES:** Alineador plástico termoformado, aditamentos en resina, ligamento periodontal (LPD), análisis tridimensional de elementos finitos, intrusión dental, CAD.

### ABSTRACT

**Introduction:** The purpose of this research is to describe the biomechanical effect generated by applying a rotational movement in a right upper canine with a plastic aligner WITH and WITHOUT attachments by means of a three dimensional finite element analysis.

**Methodology:** From the CAD of the right upper canine, periodontal ligament and thermoformed plastic aligner, 4 models of finite elements (F.E.M) were developed to simulate the mechanics of desrotation in cases of dental crowding, WITH and WITHOUT attachments. In model 1, it was tried to determine the stiffness to the rotation of the LPD, simultaneously another simulation was realized with the objective to determine the rigidity of the LPD to the intrusive loads. In model 2 we tried to evaluate the intrusive tendency of the canine to the rotation WITHOUT attachments and without PDL. The final simulation (model 3 and 4) sought to see the aggregate result of the previous ones, simulating the true clinical scenario and determining the displacement of the canine, taking into account both the intrusive tendency of the aligner and the stiffness of the PDL. **Results:** Due to the disaggregated models, we performed the simulation of the complete model, WITH and WITHOUT attachments (model 3 and 4), releasing the following results: 1) the intrusive load on PDL WITH and WITHOUT attachments evidenced that Ratio or intrusive load ratio WITHOUT attachments is 3.71 times greater than WITH attachments. 2) The displacement of the canine on the Y axis, WITH and WITHOUT attachments showed that the ratio or quotient is 2.5 times greater WITHOUT attachments than WITH attachments and finally 3) the "lag" that presents the rotation of the canine on the aligner, when performing a rotation of 4° WITHOUT attachments the canine



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

"delays" with respect to the aligner a 28% at the end of the movement, which corresponds to 1.12°. And WITH attachments the canine only "delays" 5% at the end of the movement.

**Conclusions:** During rotation of the canine with thermoformed plastic aligner, intrusive vectors are generated on the tooth. During the rotation of the canine with thermoformed plastic aligner there is a lag between the rotation of the aligner and the resulting rotation of the tooth. Biomechanical complementation attachments significantly reduce both the intrusive effect during rotation and the lag between tooth and aligner.

**KEY WORDS:** Thermoformed plastic aligner, resin attachments, periodontal ligament (PDL), three-dimensional finite element analysis, dental intrusion, CAD.

### TABLA DE CONTENIDO

#### 2. PRESENTACIÓN

Los investigadores principales están conformados por un Especialista en Ortodoncia y un Ingeniero Mecánico, el primero hace parte del grupo de investigación INSAO y el segundo del grupo de investigación ARCHYTAS, ambos realizaron un proyecto ambicioso que empezó con un Modelo de Elementos Finitos llamado "Caracterización de los sistemas de fuerzas iniciales generados al realizar movimientos traslacionales con alineadores plásticos y aditamentos en resina en un canino superior derecho: un análisis tridimensional con modelo de elementos finitos." El trabajo mencionado llevó al equipo a desarrollar un modelo de elementos finitos que resolvió las inquietudes que se plantearon de manera objetiva. Dentro del contexto del macro proyecto al que pertenece, este trabajo pretende realizar un estudio similar de elementos finitos, para describir el patrón de desplazamiento dental sobre su eje longitudinal y los efectos mecánicos reactivos (fuerzas y momentos netos) sobre todo el sistema durante la rotación de un canino superior derecho utilizando alineadores plásticos CON y SIN aditamentos. Su experiencia será de gran ayuda para el desarrollo técnico y de acompañamiento a los coinvestigadores, que son dos residentes de la especialización en Ortodoncia y un estudiante de ingeniería mecánica, que realizan esta tesis como requisito



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

para obtener sus respectivos títulos de grado y postgrado, pero con una actitud comprometida con el éxito y posterior publicación de la investigación.

### 3. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de biomecánica ortodóncica basados en alineadores termoplásticos han tenido un desarrollo importante en los últimos años. A pesar de haber un gran número de productos basados en este tipo de aparatología y tratamientos realizados a nivel mundial, no está suficientemente descrita la naturaleza biomecánica de estos dispositivos. Los estudios al respecto son limitados; en búsquedas realizadas en bases de datos Medline, en el área de Ortodoncia se encontraron 313 artículos realizados mediante modelos de elementos finitos, de los cuales, sólo 7 artículos describen de alguna manera las propiedades de los alineadores y su desempeño en los diferentes movimientos dentales, de tal manera que los resultados serán de gran ayuda para el planteamiento de próximas investigaciones que validen los resultados y orientar al profesional de posibles situaciones que se puedan encontrar al aplicar esta técnica.

Este estudio es de notable importancia ya que permitió crear fundamentos teóricos para el correcto uso de los alineadores plásticos y aplicarlos en la práctica clínica, y dichas bases empiezan por estudios *in-vitro* e *in-silico* que se realizan en modelos artificiales, procedimiento que no se puede llevar a cabo en humanos por su complejidad y las implicaciones éticas inherentes a ella.

La factibilidad y viabilidad de esta Investigación estuvo asegurada gracias a la participación de expertos en el área de elementos finitos de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad y la dotación tecnológica existente y el modelo 3D de la empresa Turbosquid.

Esta investigación pretendió conocer los efectos biomecánicos encontrados en la aplicación del sistema de alineadores en el movimiento específico de rotación de un canino superior derecho que ayuden a complementar los fundamentos teóricos hasta ahora evidenciados, ya



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

sea para el trabajo académico universitario o para el mejoramiento del mismo sistema o dispositivos similares por parte de sus desarrolladores.

### 4. ÁREA PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

¿Cuál es el efecto biomecánico al intentar un movimiento rotacional de un canino superior derecho, por medio de alineadores termoplásticos CON y SIN aditamentos auxiliares en resina?

El modelo de elementos finitos es un método matemático derivado de las ciencias de la ingeniería, utilizado para obtener soluciones numéricas aproximadas a ecuaciones abstractas, que predicen la posible respuesta de sistemas físicos que se encuentran sujetos a influencias externas. El objeto a analizar se compone de un gran número de pequeños elementos que forman una malla (suficientes para describir su geometría), dichos elementos consisten en aristas y superficies que están conectados por unos puntos llamados nodos, que se identifican por coordenadas, representados por un punto en la pantalla; entonces, dependiendo del número de nodos un elemento puede dar forma a una línea, un triángulo, un cuadrado, etc (1-2). El modelo de elementos finitos fue introducido en odontología en el año de 1973 (3). Y en ortodoncia fue utilizado por primera vez en 1977 (4) donde utilizó un modelo bidimensional de elementos finitos de un incisivo central superior para determinar el centro de rotación durante los movimientos de traslación. La relevancia de esta investigación parte de la base, que no existen publicaciones hasta ahora de modelo de elementos finitos aplicados a alineadores plásticos, específicamente en rotación.

### 5. REFERENTE TEÓRICO

Los arcos de níquel titanio son ampliamente utilizados para la alineación inicial debido a sus propiedades superelásticas y de recuperación de forma (5). En ésta etapa está incluida la eliminación de rotaciones, que ha sido resuelto rutinariamente con brackets donde la interacción con el arco genera una cupla, que es un sistema que tiene dos fuerzas paralelas de igual magnitud, actuando en sentido contrario (6). Gracias a esta mecánica se pueden



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

realizar movimientos para corregir tales malposiciones dentales. Sin embargo, existen otros aparatos fijos y removibles que ayudan a cumplir este objetivo clínico, entre los que se encuentran los alineadores plásticos.

Los primeros movimientos dentales menores utilizados en ortodoncia con aparatos termoplásticos fueron realizados por Kesling en 1945. Esta técnica ha sido fomentada por diferentes autores (Ponitz 1971 (7), McNamara *et al.* 1985 (8), Sheridan *et al.* 1993 (9), Rinchuse and Rinchuse 1997 (10), Lindauer and Shoff 1998 (11) y Djeu *et al.* 2005 (12)) como alternativa o complemento a la aparatología fija y para el tratamiento de las maloclusiones. En 1998, Align Technology (Santa Clara, CA, EE.UU.) desarrolló Invisalign® que consta de una serie de alineadores removibles de poliuretano como una alternativa estética a los brackets convencionales que usa tecnología estereolitográfica de CAD/CAM, para pronosticar el tratamiento y fabricar una secuencia de alineadores con una misma impresión, donde cada alineador está programado para mover un solo diente o un pequeño grupo de dientes no más de 0,25 mm cada 14 días (13). Aunque se han documentado tratamientos exitosos con alineadores termoplásticos (Wong, 2002 (14); Bollen *et al.*, 2003 (15); Clements *et al.*, 2003 (16); Djeu *et al.*, 2005 (12)) no se ha investigado sistemáticamente las mecánicas de liberación de fuerzas de estos aparatos y solo unos pocos han sido publicados (Warunek *et al.*, 1989 (17); Rost *et al.*, 1995 (18); Barbagallo *et al.*, 2008b (19)).

La de-rotación de dientes de forma cilíndrica representa un reto biomecánico importante debido a la dificultad que tiene el sistema para generar una cupla eficiente a través de fuerzas normales (perpendiculares a la superficie de aplicación), (20). Por ello, Align Technology Inc. desarrolló diferentes estrategias para mejorar las competencias biomecánicas del sistema como son: aditamentos en resina, reducción interproximal, *thermopliers*, sobrecorrección de rotaciones y mecánicas auxiliares para ayudar al movimiento rotacional (20). Y es importante mencionar que según la revisión sistemática de Lagraverè y Flores-Mir, 2005 (21); no hay evidencia científica suficiente que compare los tratamientos con alineadores termoplásticos y



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

la literatura está limitada a: reporte de casos, comentarios, estudios de materiales, encuestas, artículos técnicos descriptivos, 1 abstract, 2 estudios de cohortes comparativos retrospectivos, y sólo 2 ensayos clínicos.

El movimiento dental con alineadores termoplásticos desde el punto de vista clínico está documentado, pero las propiedades de liberación de fuerza de estos dispositivos se han evaluado *in-vivo* (19) e *in-vitro* y solamente en inclinación dental (22-23). En 2009 (23) realizaron un estudio *in-vitro* que buscaba describir las fuerzas generadas por los alineadores de diferentes materiales por medio de un aparato. Se enfocaron en las fuerzas liberadas de tres diferentes tipos de materiales con el mismo espesor, en los movimientos de inclinación en un incisivo central superior, encontrando que se generan sistemas de fuerzas complejas y que además de un movimiento de inclinación también se observó un componente intrusivo. Las fuerzas medidas para un movimiento de inclinación fueron aproximadamente de 5 a 11 veces mayores que las determinadas en la literatura como “ideales” (0.35 a 0.60 N) reportadas por Proffit en el 2000 (24) y el proceso específico de termoconformación tiene influencia significativa en la magnitud de la fuerza liberada del aparato durante la inclinación. Posteriormente investigaron cuál era la influencia del espesor de la placa en la magnitud de la fuerza liberada en un incisivo central superior durante el inclinación y corroboraron que el espesor puede influir en la fuerza entregada y que el proceso de termoformado específico, tiene un efecto significativo en la magnitud de la fuerza liberada (22). Ninguno de los estudios mencionados anteriormente incluyeron aditamentos en resina.

En el 2010 (25) estudiaron por medio de un aparato de medición *in vitro* las fuerzas y los momentos generados por tres tipos de placas termoplásticas, del mismo grosor pero de diferente dureza del material, en la rotación de un incisivo central superior. Los resultados de este estudio significaron un avance importante para el entendimiento de los movimientos de rotación, ya que se logró identificar y medir que un movimiento de rotación genera una intrusión dental, que es un fenómeno propio de los alineadores que tiene el nombre de “The Watermelon Seed Effect” que se da por una deformación local de las superficies internas del



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

aparato, donde la zona oclusal del alineador es la que ejerce la fuerza y tiende a deformar el aparato como un arco de flecha (25- 26). Entonces los momentos y fuerzas liberadas de los tres diferentes tipos de placas van a depender como confirman otros estudios (22- 23) del tipo de material de manufactura y proceso de termoformado, concluyendo así que las fuerzas y momentos cuantificados eran mayores que las recomendadas en la literatura, pero que a su vez siguen inciertos los efectos adversos que puedan provocar, siendo este el primer estudio que se enfoca en los efectos que tienen los alineadores en la rotación dental. Los artículos confirman lo innovador del estudio afirmando que se han realizado muy pocos estudios *in-vivo* e *in-vitro*, y que se han evaluado solo desde el punto de vista de la inclinación. Después en 2011 (27) realizaron un estudio *in-vitro* complementario al realizado en 2010 al inicio del párrafo, donde investigaron cual era la influencia de la fuerza de la oclusión durante la deglución en la liberación de fuerzas y momentos, en la rotación de un incisivo central superior con alineadores termoplásticos, encontrando que una fuerza oclusal tal como el generado durante la deglución, actuando sobre un alineador, aumenta las fuerzas intrusivas medibles y momentos giratorios presentes durante la rotación de un incisivo central superior.

De la misma manera, en otro estudio Hahn W, Zapf A, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Gruber R, Kubein-Meesenburg D, Sadat-Khonsari R. “Torquing an upper central incisor with aligners-Acting forces and biomechanical principles”. Eur J Orthod. 2010; 32: 607-613 (28) realizado en 2010 con respecto al torque del incisivo central superior, describió que los movimientos de inclinación son más predecibles que los de torque y esto se debe a que durante el inclinación, la fuerza generada se da principalmente por la deformación del aparato cerca del borde incisal, donde el aparato es forzado debido a una curva cerrada, en cambio, durante el torque, las fuerzas generadas son causadas principalmente por flexión del aparato cerca del margen gingival, donde se reduce la rigidez del aparato en comparación con el área cerca del borde incisivo. Esto explica por qué, durante el torque las fuerzas horizontales son inferiores que durante el inclinación. También se describe el fenómeno del “Lift up” o “tendencia a levantarse”, que es un evento adverso que no permite una cupla



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

adecuada para el control radicular, que es dependiente del material y la morfología dental donde el borde incisal no tendrá un contacto estrecho con la superficie interna del alineador, por ello, ninguna fuerza efectiva será producida y en consecuencia, no hay movimiento de la raíz, sino, un movimiento de inclinación inicial que se dará en la dirección de la fuerza.

Por su complejidad, los movimientos rotacionales precisos con alineadores plásticos en caninos han sido objeto de estudio. En otra investigación (20) compararon la eficacia antirrotacional de los alineadores termoplásticos en caninos de tres formas diferentes: primero, realizando solo desgaste interproximal; segundo, colocando solo aditamentos y tercero, colocando la placa sin aditamentos y sin desgaste interproximal; encontrando que no había diferencias estadísticamente significativas en la precisión antirrotacional de caninos superiores e inferiores, utilizando aditamentos elipsoides verticales. Este estudio no tuvo en cuenta que el tratamiento ideal con Invisalign no solo incluye el aditamento, sino también la reducción interproximal, ya que la interacción de ambos es necesario para un óptimo funcionamiento del sistema y no fue incluida, además en la actualidad se utilizan aditamentos optimizados en resina para caninos.

En un estudio clínico prospectivo (13) se realizó una superposición del modelo virtual de la posición dental final entregada por el ClinCheck® con el modelo virtual de la posición dental lograda al final del tratamiento obtenida de una impresión postratamiento, gracias al software ToothMeasure® propiedad de Invisalign® para comparar la exactitud del tratamiento con este sistema y encontró que los movimientos dentales más precisos con alineadores son los de compresión lingual (47,1%) y los menos precisos son los de extrusión (29,6%). Con respecto a los movimientos de rotación, los caninos son los que presentan menor precisión y una des-rotación de más de 15° hace que disminuya significativamente, sin embargo, en las limitaciones del estudio no se tuvo en cuenta la sobrecorrección hecha por la empresa e incluso dentro de la investigación reportaron que no se realizó sobrecorrección del caso y sin excepción todos los dientes tienen la capacidad de lograr la posición dental deseada.



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

En literatura revisada hasta ahora solo el estudio de Kravitz *et al* (20), ha estudiado el papel de los aditamentos en resina en el desempeño biomecánico de los sistemas de alineadores. Es necesario ampliar la base del conocimiento en este tema específico de estas nuevas tecnologías, ya que los aditamentos de complementación biomecánica constituyen uno de los frentes más promisorios de desarrollo de dichos sistemas.

El efecto de los attachments diseñados específicamente para rotación de caninos (Optimized Rotation Attachments®) no han sido estudiados.

Aunque hay estudios in vitro aplicados en alineadores termoplásticos, son pocos y se mencionarán en el transcurso del artículo, viéndose la necesidad de estudiar este sistema por medio del Método de elementos finitos para aportar más bases científicas a este sistema; además, las investigaciones sobre alineadores termoplásticos y específicamente las biomecánicas aplicadas para la derotación dental son nulas.

Dicho estudio se enfocará en un movimiento rotacional aplicado a un canino superior derecho con un alineador termoplástico CON y SIN aditamentos. Este método de investigación permitirá validar, evidenciar o desechar hipótesis que clínicamente se han evidenciado con alineadores termoplásticos CON y SIN aditamentos. También se busca reportar las variables resultantes del movimiento de rotación de un canino superior derecho con alineadores plásticos con el fin de que el profesional tenga evidencia científica similar a lo que clínicamente puede suceder en sus pacientes durante el tratamiento con estos aparatos removibles y tenga la capacidad de ejercer control directo del tratamiento, y así prevenir situaciones que conlleven al incumplimiento de los objetivos planteados en el diagnóstico y plan de tratamiento.



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

### 6. LOS OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL

-Describir el efecto biomecánico generado al aplicar un movimiento rotacional en un canino superior derecho con alineador plástico CON y SIN aditamentos en resina por medio de un análisis tridimensional en elementos finitos.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el patrón de desplazamiento dental sobre su eje longitudinal, al aplicar un movimiento rotacional al canino superior derecho, utilizando un alineador plástico, *CON* y *SIN* aditamentos en resina.
- Describir los efectos mecánicos reactivos (fuerzas y momentos netos) sobre todo el sistema, al aplicar un movimiento rotacional al canino superior derecho utilizando un alineador plástico, *CON* y *SIN* aditamentos en resina.

### 7. METODOLOGÍA

A partir del CAD del canino superior derecho, ligamento periodontal y el alineador plástico termoformado se desarrollaron 4 modelos de elementos finitos (M.E.F.) para simular la mecánica de desrotación en casos de apiñamiento dental, *CON* y *SIN* aditamentos de complementación biomecánica en resina para analizar los efectos reactivos resultantes (fuerzas y momentos netos) del sistema y los patrones de desplazamiento del diente. Este estudio no incluyó el hueso alveolar ya que la contribución de la deformación del hueso al desplazamiento del canino se consideró insignificante (el desplazamiento del canino se debe exclusivamente a la deformación del ligamento periodontal).

Los Modelos de elementos finitos utilizados en este estudio están compuestos por estructuras cuyas características físicas fueron incorporados de la siguiente manera:

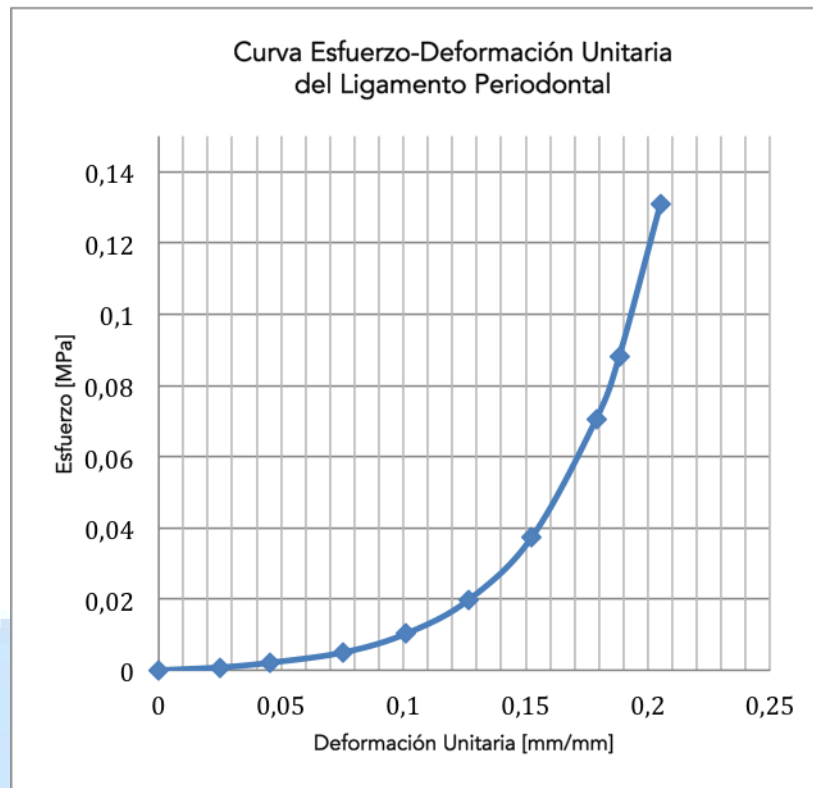
1. Diente (canino superior derecho): Se modeló con un comportamiento rígido.

2. Ligamento Periodontal: Se asumió como un material con comportamiento hiper-elástico no lineal isotrópico, con la función de esfuerzo-deformación unitaria calculado a partir de valores obtenidos del estudio de Toms (29) para la zona cervical (**Gráfica 1**).
3. Aditamentos en Resina: Se asumieron como un material con comportamiento lineal elástico isotrópico, con las propiedades mecánicas referidas por el fabricante (**Tabla 1**).

MATERIAL	MÓDULO DE YOUNG [MPa]	RAZÓN DE POISSON
Aditamentos en Resina	$12.5 \times 10^3$	0.36

**Tabla 1.** Propiedades asignadas a la resina.

4. Placa Termoplástica: Las propiedades mecánicas de la placa termoplástica utilizada en el presente estudio se obtuvieron del estudio de Gómez J.P *et al.* (30) Que corresponde a un modulo de Young de 528 MPa y una razón de Poisson de 0,36, típica de los materiales plásticos termoformables (31).



**Gráfica 1.** Propiedades no lineales del ligamento periodontal. Toms

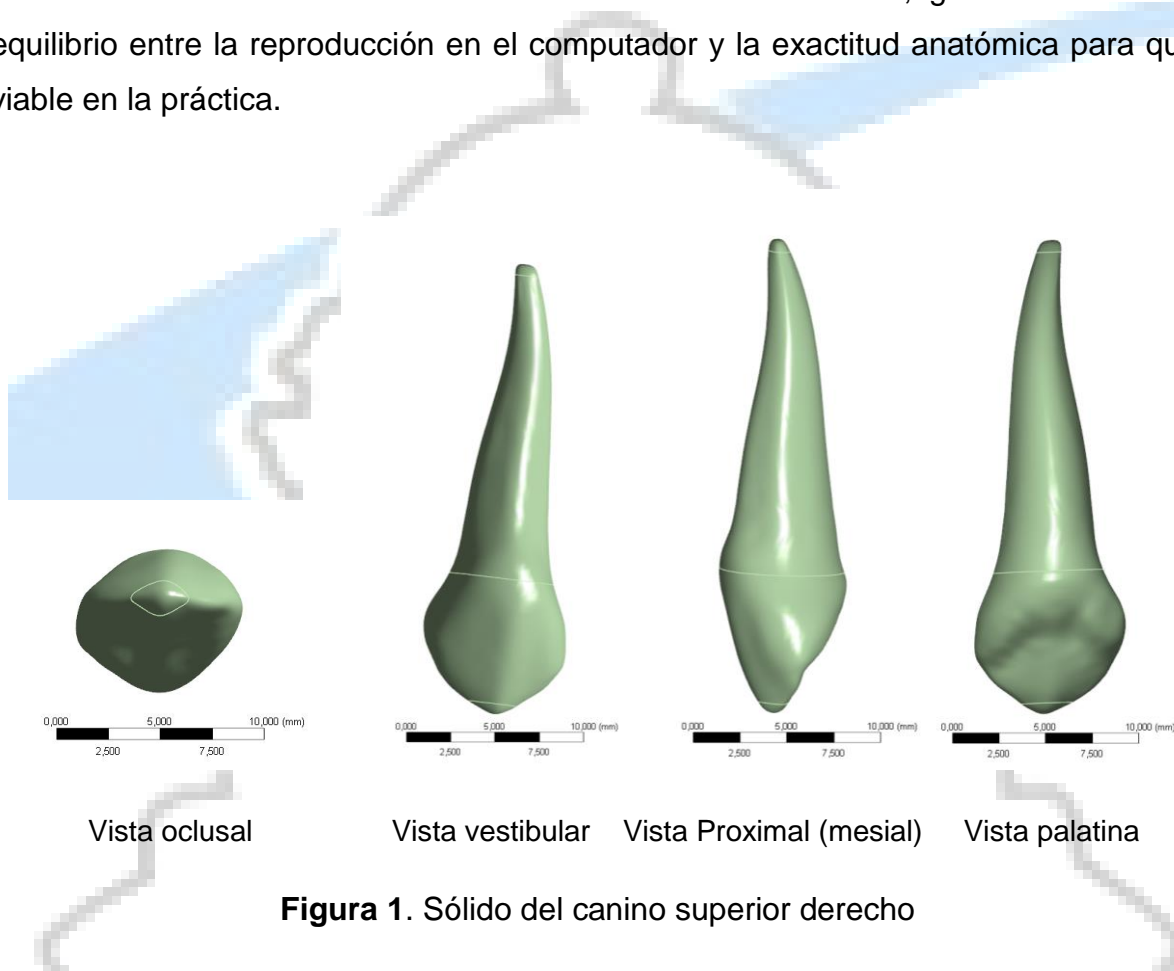
## a) CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

### Modelo CAD

#### Diente

Se adquirió un modelo 3D a escala real de la empresa TurboSquid de toda la dentición permanente del cual se utilizó el canino superior derecho **Figura 1**, (<http://www.turbosquid.com/3d-models/teeth-permanent-dentition-max/578051>) que fue estudiado por el personal técnico-científico del grupo de investigación para el cumplimiento de los objetivos específicos, y se eligió por las siguientes razones:

1. Esta investigación está enmarcada dentro de un macro proyecto que necesita todos los dientes del mismo paciente, ya que desde el punto de vista odontológico, es importante que los dientes involucrados tengan correlación anatómica, para darle más validez al estudio y este modelo 3D tiene los 32 dientes de un paciente en particular.
2. Su facilidad para enmarrarlo, ya que hay menos entidades CAD, y se logra una caracterización fiel de la anatomía de los dientes a estudiar, garantizando un mejor equilibrio entre la reproducción en el computador y la exactitud anatómica para que sea viable en la práctica.



**Figura 1.** Sólido del canino superior derecho

### **Ligamento periodontal, Placa termoplástica y Aditamentos**


La anatomía del ligamento periodontal se realizó de espesor uniforme de 0,3 mm y se realizó un modelo adicional de 0,5 mm inherente a la inflamación secundario a las fuerzas ortodóncicas.




La placa termoplástica se realizó con un espesor uniforme de 0,8 mm. Esta medida es el promedio de los valores obtenidos al medir el espesor de una placa original de la empresa Invisalign®

Los aditamentos en resina se modelaron con base en el diseño del aditamento utilizado por Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA.) para rotación del diente correspondiente (Optimized Canine Rotation Attachment)

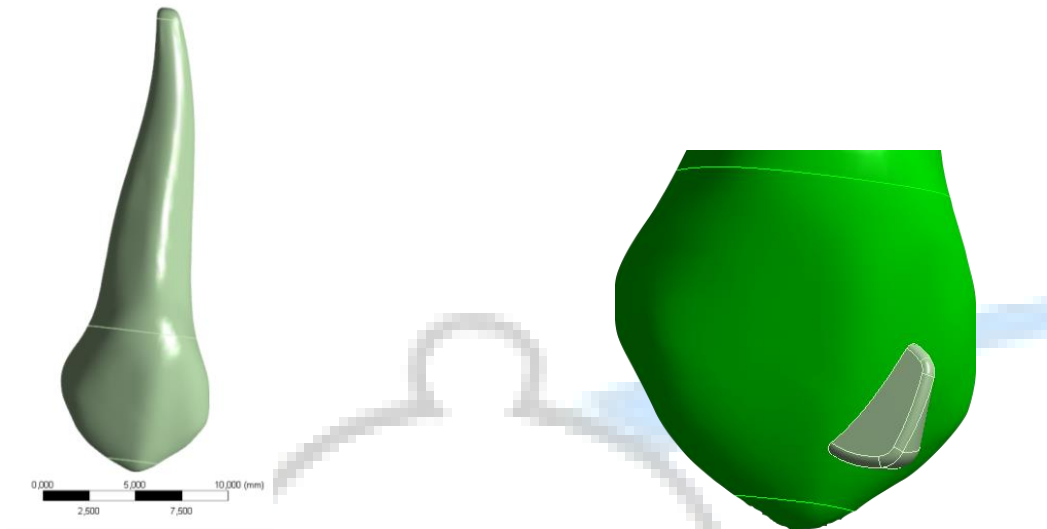
Estas estructuras fueron construidos en un ensamble descendente mediante el programa SolidWorks® 2014. El ensamble así generado, con los sólidos de canino, LPD, aditamento y placa fueron importados posteriormente al programa de elementos finitos ANSYS 16.1®.

Con todas estas especificaciones, se realizaron cuatro modelos preliminares y se compararon entre sí. **Cuadro 1**, para tratar de entender los fenómenos físicos que ocurren y observar las fuerzas que actúan sobre el diente CON y SIN aditamentos **Figura 2a** y **Figura 2b**.

	<b>Sólidos</b>	<b>Objetivo del modelamiento</b>	<b>Variantes/parámetros</b>	<b>Esquema</b>
<b>Modelo 1</b>	- Canino - LPD	Evaluar la rigidez del LPD a la rotación y a la intrusión.	Se evaluó con espesor del LPD 0,3 mm (normal) y 0,5 mm (inflamación del LPD como respuesta a las fuerzas de ortodóncicas)	

<b>Modelo 2</b>	-Canino -Placa	Evaluar la tendencia intrusiva del canino ante la rotación de la placa, SIN aditamentos, y sin LPD	Sin fricción	
<b>Modelo 3 (simulación final)</b>	-Canino -LPD -Placa	Simular el movimiento del canino tomando en cuenta tanto la tendencia intrusiva que genera la placa como la rigidez del LPD, SIN aditamentos	Sin fricción, se evaluó con espesor del LPD de 0,3 mm	
<b>Modelo 4 (simulación final)</b>	-Canino -LPD -Placa -Aditamento	Simular el movimiento del canino tomando en cuenta tanto la tendencia intrusiva que genera la placa como la rigidez del LPD, CON aditamentos	Sin fricción, se evaluó con espesor del LPD de 0,3 mm	

**Cuadro 1.** Descripción de los modelos utilizados, los Modelos 3 y 4 son la simulación final que corresponde a todo el sistema CON aditamentos y SIN aditamentos en resina.




**Figura 2a.** Canino sin aditamento

**Figura 2b.** Canino con Aditamento

### Enmallado

El enmallado del modelo se realizó con elementos tetraédricos. La **Tabla 3** muestra el número de nodos y elementos para cada pieza en los 3 modelos preliminares simulados.

COMPONENTES	NÚMERO DE ELEMENTOS	NÚMERO DE NODOS
CANINO	57834	98426
ADITAMENTO	2082	4279
LIGAMENTO PERIODONTAL	33753	59057

	<b>GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM</b>	CÓDIGO: GIN—GUI-001
		VERSIÓN: 01
		FECHA : 23/ENE/2015

PLACA SIN ADITAMENTO	86481	124602
PLACA CON ADITAMENTO	91260	131785

**Tabla 3.** Número de nodos y elementos del modelo

### Condiciones de Contacto

En ANSYS 16.1<sup>®</sup> se estableció la condición de unión rígida sin desplazamiento relativo (bonded) en las siguientes interfaces: diente-ligamento, diente-aditamentos.

Para el contacto entre la placa y sus interfaces de contacto con la corona del diente y los aditamentos se estableció una condición de deslizamiento sin fricción (frictionless). Ésta condición fue establecida en el presente estudio debido a la presencia de saliva, ya que actúa como lubricante entre la placa y el diente.

### Condiciones de Frontera y Restricciones

Se estableció una condición de soporte fijo en la superficie exterior del ligamento, simulando la condición del desplazamiento mínimo del hueso alveolar que lo soporta.

### b) FENÓMENO SIMULADO

Con las características que se le dieron a cada una de la estructuras descritas anteriormente se realizaron las simulaciones de los modelos desagregados y la simulación final con el modelo completo.



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

### Modelo 1

Se pretendió con este modelo determinar la rigidez a la rotación del LPD, en esta simulación se le impuso al canino una rotación de  $0^{\circ}$  a  $3^{\circ}$ . Simultáneamente se realizó una simulación donde se impuso sobre el canino un desplazamiento intrusivo de 0,12 mm hacia apical con el objetivo de determinar la rigidez del LPD a las cargas intrusivas.

### Modelo 2

Se pretendió con este modelo evaluar la tendencia intrusiva del canino ante la rotación SIN aditamentos y sin LPD, en esta simulación se le impuso a la placa una rotación sobre el eje longitudinal del diente de  $0^{\circ}$  a  $3^{\circ}$ , donde al canino se le dio la libertad de intruirse y se estableció una restricción al desplazamiento sobre los ejes X y Z.

### Modelo 3 y 4 o Simulación Final

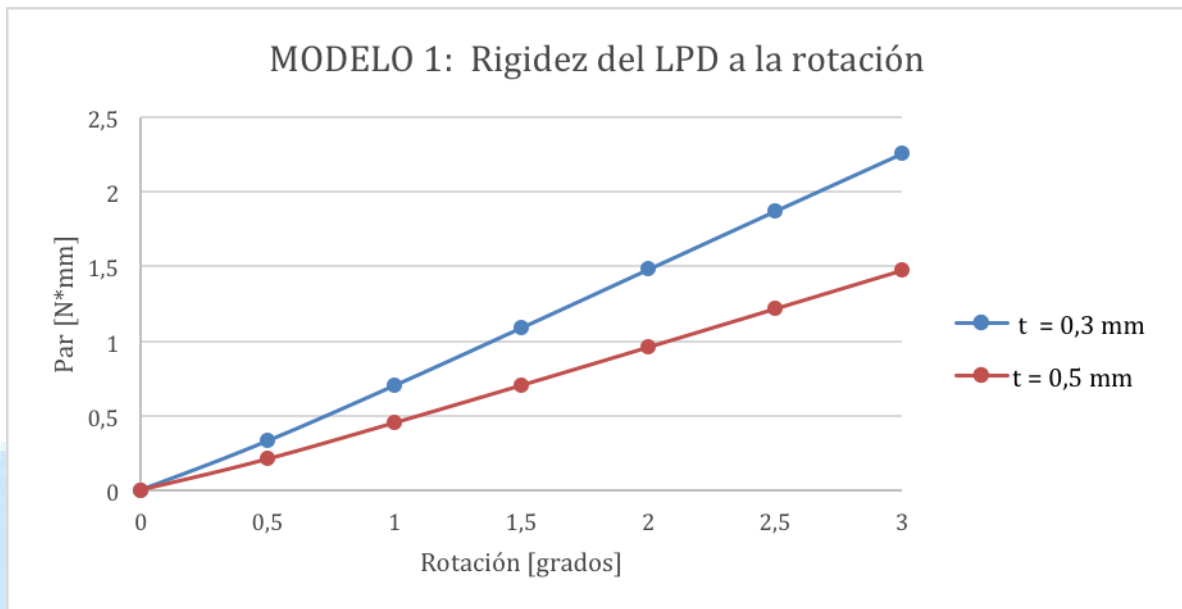
Se pretendió con estos modelos ver el resultado agregado de los anteriores, simulando el verdadero escenario clínico y determinar el desplazamiento del canino tomando en cuenta tanto la tendencia intrusiva que genera la placa como la rigidez del LPD. A ambos modelos se les impuso una rotación de  $0^{\circ}$  a  $2^{\circ}$ , diferenciándose que el modelo 3 es SIN aditamentos y el modelo 4 es CON aditamentos en resina.

## 8. RESULTADOS

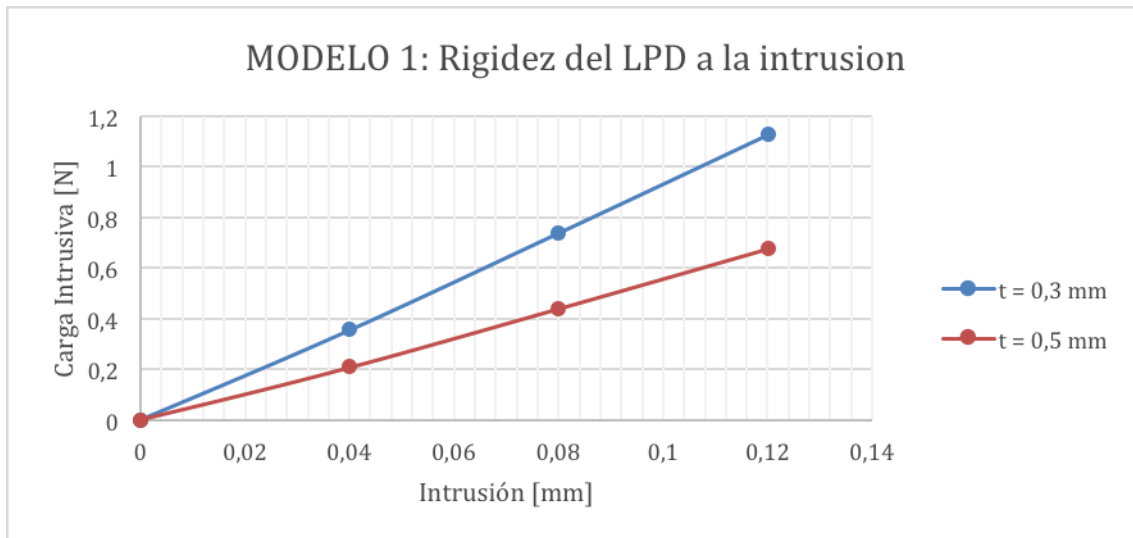
### Modelo 1

El par requerido para lograr la rotación del canino se obtuvo en la simulación, calculando la reacción en la superficie exterior del LPD (asumida como soporte fijo). Los resultados en la **Gráfica 2**. Muestran que para realizar la rotación del canino con un espesor del LPD de 0,3 mm (línea azul) y de 0,5 mm (línea roja), es diferente ya que al aumentar el espesor del LPD va a disminuir su rigidez, por lo que se necesita menos par.

La carga intrusiva requerida para obtener el desplazamiento se obtiene en el modelo mediante la reacción del LPD hacia incisal, para dos espesores de LPD, 0,3 mm (línea azul) y 0,5 mm (línea roja), la **Gráfica 3**. Muestra que al aumentar el espesor del LPD se necesita menos carga para instruir el diente 1mm.



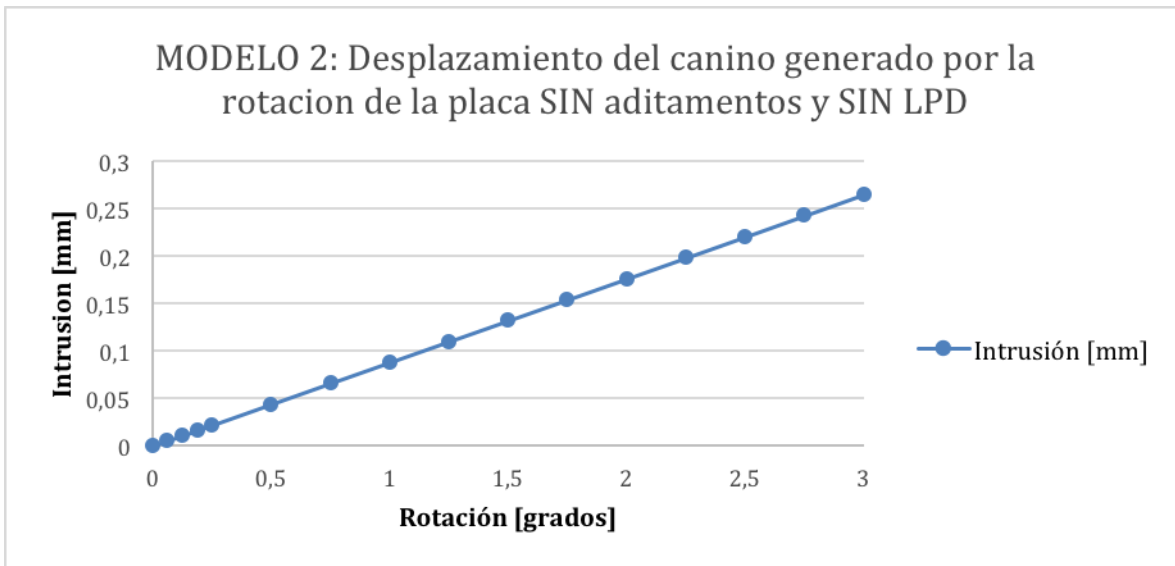
**Gráfica 2.** Rigidez a la rotación del LPD para dos espesores diferentes:  $0,706 \text{ N}^*\text{mm}/^\circ$  para  $t=0,3 \text{ mm}$  y  $0,454 \text{ N}^*\text{mm}/^\circ$  para  $t=0,5\text{mm}$



**Gráfica 3.** Rigidez a la intrusión del LPD de un canino superior derecho. 9,246 N/mm para  $t=0,3$  y 5,512 N/mm para  $t=0,5$

### Modelo 2

El desplazamiento que genera la rotación de la placa sobre canino, en el eje longitudinal del diente de incisal a apical se observa en la **Gráfica 4**. Y muestra como la rotación de la placa SIN aditamentos y sin LPD genera una tendencia intrusiva en el canino con un valor de 0,088 mm<sup>0</sup>. Los contactos originales entre la placa y el diente se pierden.



**Gráfica 4.** Desplazamiento de un canino superior derecho generado por la rotación de la placa SIN aditamentos y sin LPD.  $0,088 \text{ mm}^{\circ}$

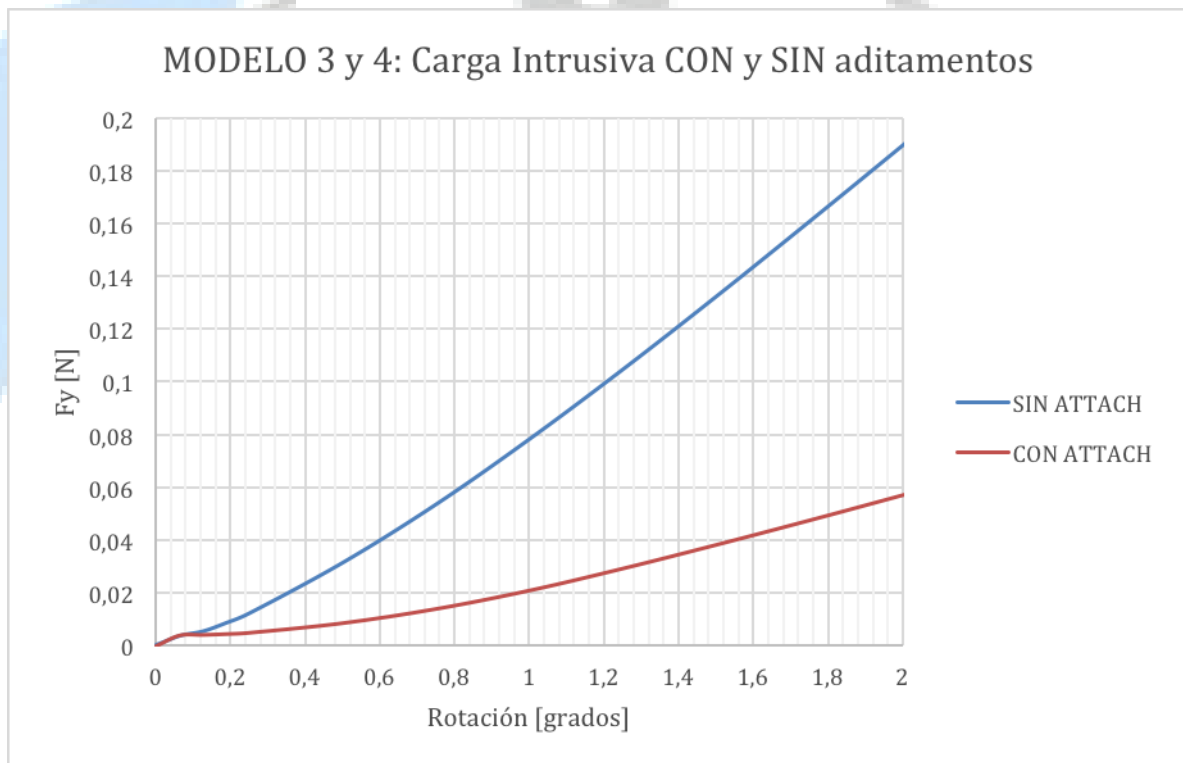
### Modelo 3 y 4 o Simulación final

Gracias a los modelos desagregados se realizó la simulación del modelo completo CON y SIN aditamentos lanzando varios resultados, en la **Gráfica 5**. Muestra la carga intrusiva que se ejerce sobre el LPD CON y SIN aditamentos en resina evidenciando que la relación o cociente de la carga intrusiva SIN aditamentos es 3,71 veces mayor que CON aditamentos, además, las cargas son de carácter permanente y producen desplazamientos cada vez mayores. En la **Gráfica 6**. Muestra el momento requerido para girar la placa, CON y SIN aditamentos en resina, donde la relación o cociente del momento requerido para girar la placa SIN aditamentos 0,78 veces menor que CON aditamentos en resina, observándose también el par que se genera entre la placa y el diente SIN aditamentos **Figura 3**. Y finalmente en La **Gráfica 7**. Muestra el desplazamiento del canino en el eje Y, CON y SIN aditamentos en resina donde la relación o cociente del desplazamiento en el eje Y del canino SIN aditamentos es 2,5 veces mayor que CON aditamentos en resina, entonces el sistema (no el modelo) es hipersensible a la rigidez torsional de la placa con pequeños

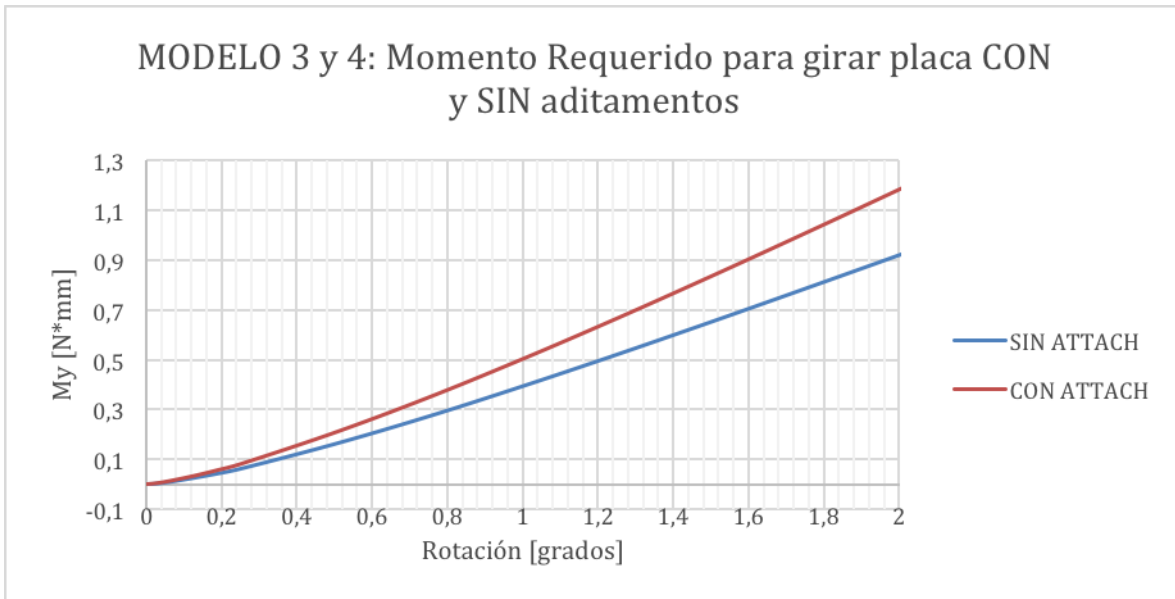
desplazamientos, los contactos originales se pierden, la tendencia intrusiva es muy clara **Figura 4.**

Otro resultado que se evidenció en la simulación final fue el “rezago” que presenta la rotación del canino sobre la placa, en la **Gráfica 8.** Muestra como al realizar una rotación de 4° SIN aditamentos el canino se “retrasa” con respecto a la placa un 28% al finalizar el movimiento, lo que corresponde a 1,12°. Y CON aditamentos el canino solo se “retrasa” 5% al finalizar el movimiento, básicamente se observó que este “rezago” se da porque el diente se resbala sobre la placa termoplástica.

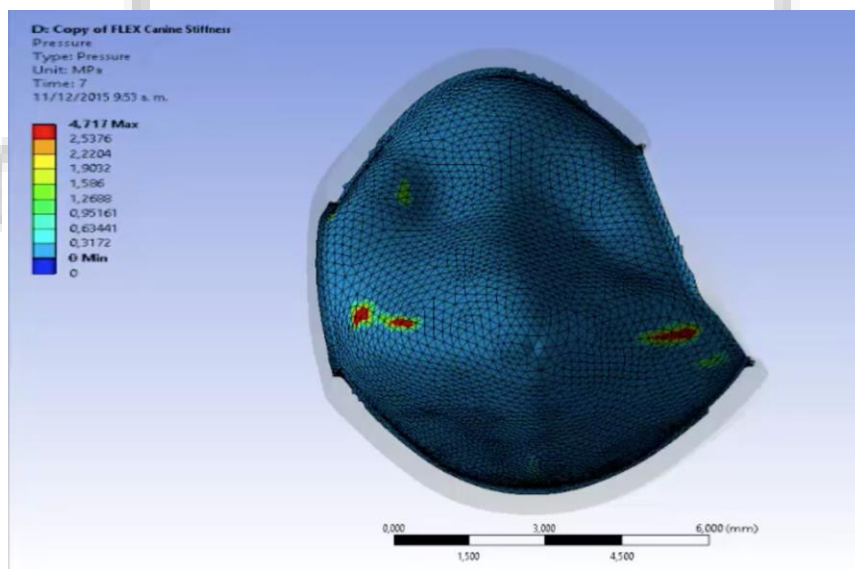
Como hallazgo adicional, se encontró que la superficie que se pensaba que era activa, realmente es un punto de máxima presión que se puede apreciar en la **Figura 5.**



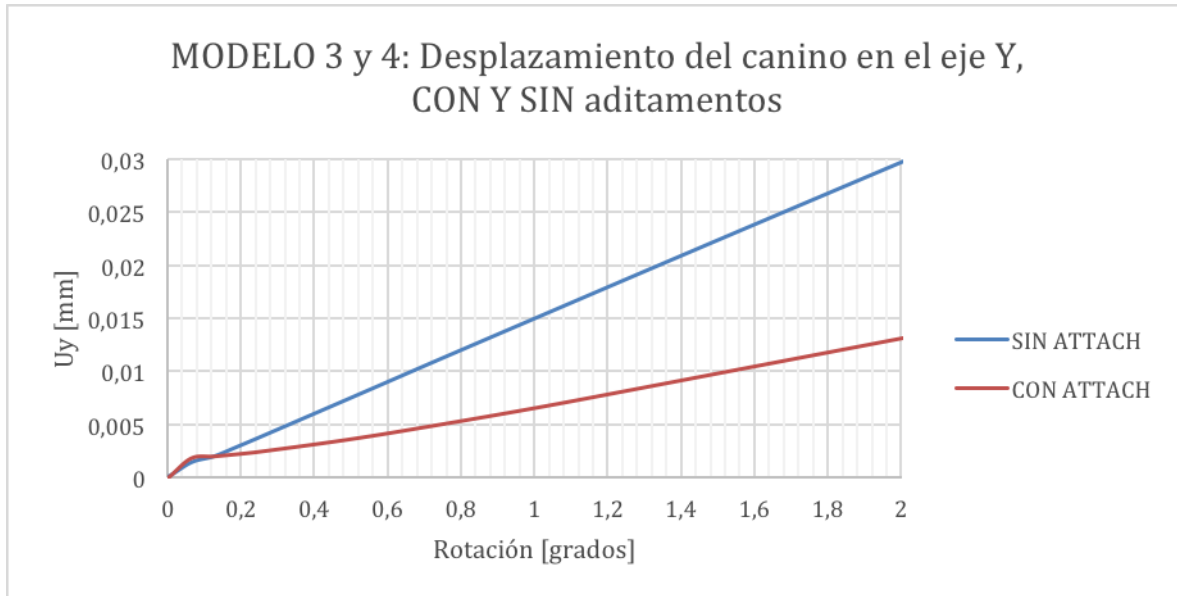
**Grafica 5.** La carga intrusiva ( $F_y$ ) SIN aditamentos es de  $0,078 \text{ N}$  por cada grado de rotación ( $\text{N}^\circ$ ) (línea azul) y CON aditamentos es de  $0,021 \text{ N}^\circ$  (línea roja).



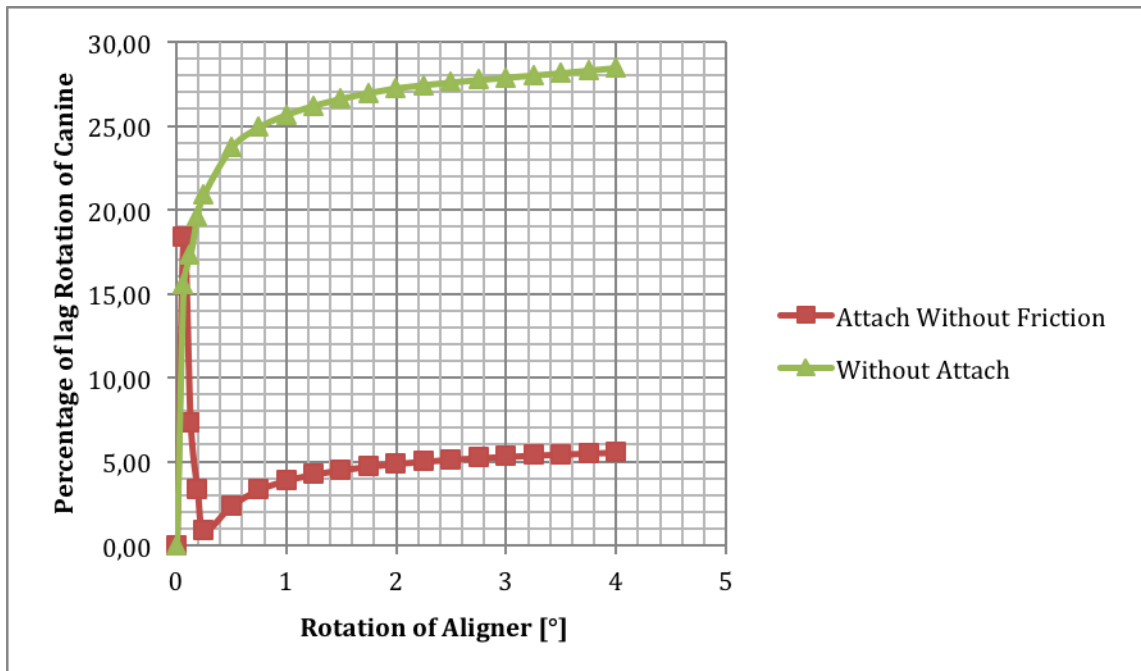
**Grafica 6.** El momento requerido para girar la placa SIN aditamentos (línea azul) es de  $0,397 \text{ N}^\circ \text{mm}$  por cada grado de rotación ( $\text{N}^\circ \text{mm}^\circ$ ), CON aditamentos (línea roja) es de  $0,507 \text{ N}^\circ \text{mm}^\circ$ .



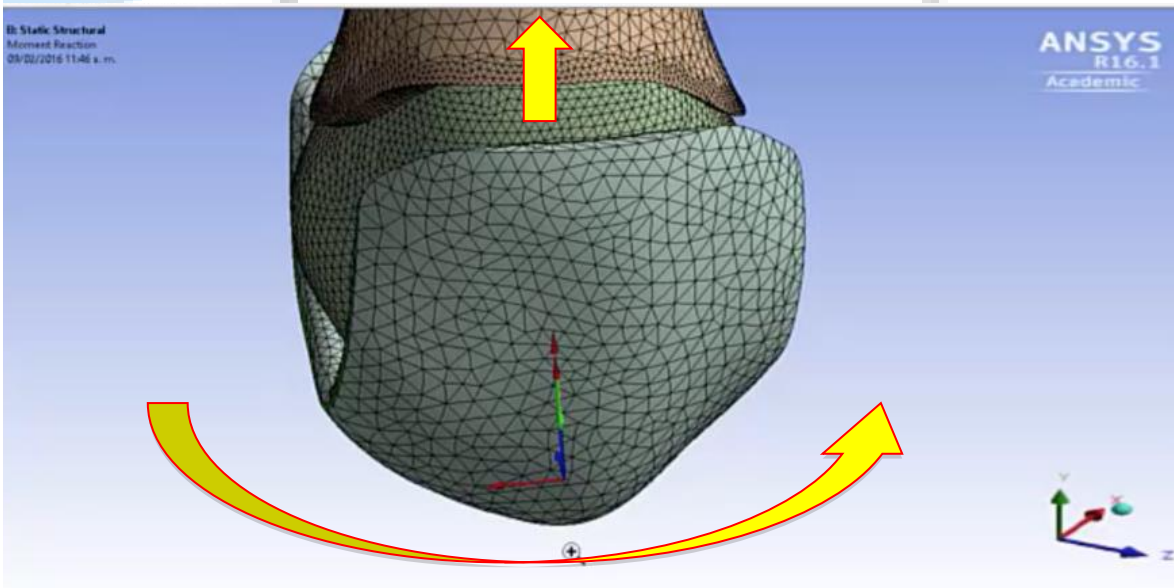
**Figura 3.** Vista oclusal de las zonas de contacto y valores de presión para la rotación de un canino SIN aditamentos en resina. Las zonas de color azul son valores de presión menores y las zonas de color rojo son valores de presión mayores entre la placa y el diente



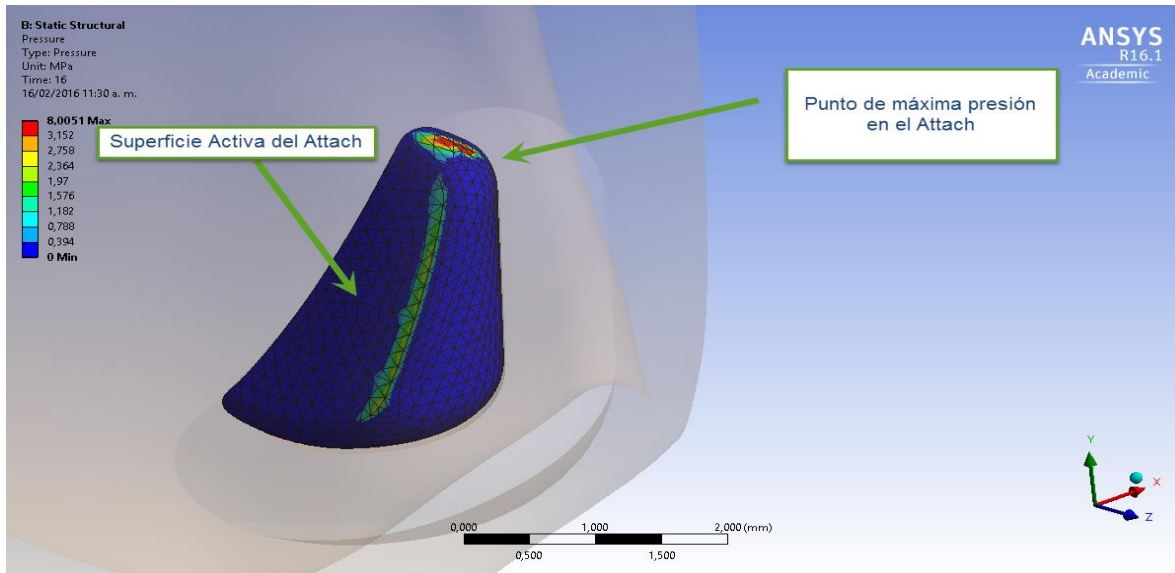
**Gráfica 7.** Desplazamiento del canino en el eje Y, SIN aditamentos (línea azul) es de 0,015 mm por cada grado de rotación (mm/º), CON aditamentos (línea roja) es de 0,006 mm/º.



**Grafica 8.** “Rezago” o porcentaje efectivo de rotación del canino con respecto a la rotación de la placa, CON y SIN aditamentos



**Figura 4.** Efecto intrusivo sobre el canino al rotar el segmento de alineador termo-formado SIN aditamentos



**Figura 5.** Zonas de contacto en el aditamento. Las zona roja muestra el punto de máxima presión en el aditamento y la zona del borde exterior muestra una superficie donde se encuentra un contacto pero que no es significativo.

## 9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En un estudio in vitro, Hahn et al. (25) midieron las fuerzas y los momentos generados por tres tipos de placas termoplásticas, del mismo grosor pero de diferente dureza del material, durante la rotación de un incisivo central superior. Encontraron un efecto intrusivo atribuible a “Deformación local de las superficies internas inclinadas del aparato y con un ajuste reducido durante la rotación axial progresiva, que tiende a deformar el aparato como un arco, elevándolo en la zona anterior”. La simulación con el modelo numérico del presente estudio evidenció una intrusión del canino al realizar la rotación de la placa, confirmando los hallazgos de Hahn et al. Adicionalmente, al incluir en la simulación aditamentos de resina, pudimos observar que estos elementos de complementación biomecánica modificaron el sistema de fuerzas, reduciendo significativamente el efecto intrusivo (x 2.5 veces), además



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

de cuantificar por cada grado de rotación cuánto se intruye un diente ( $0,015 \text{ mm}^{\circ}$ ). Otro aporte del presente estudio fue el de localizar y cuantificar las áreas de la corona del diente donde la placa generó los puntos de presión responsables de los vectores intrusivos.

El artículo de Hahn et al. (25) no menciona la importancia de los aditamentos en resina. Hasta ahora ningún estudio ha investigado la importancia de los aditamentos en resina en la disminución del efecto intrusivo que generan las mecánicas con alineadores.

Un estudio clínico prospectivo de Kravitz *et al* (20), estudió el papel de los aditamentos en resina en el desempeño biomecánico de los sistemas de alineadores, específicamente en movimientos de ROTACIÓN, concluyendo que NO mejora significativamente la precisión de la rotación canina, contrario a lo concluido por el presente estudio. Debe tenerse en cuenta que los hallazgos de Kravitz y su grupo presentan las siguientes limitaciones:

1. Utilizaron aditamentos elipsoidales verticales pertenecientes a la primera generación de innovación de Invisalign®, considerados actualmente de poca utilidad biomecánica. El presente estudio evalúa aditamentos diseñados específicamente para rotación de caninos (Optimized Rotation Attachments®) pertenecientes a la última generación de desarrollos.
2. No se utilizó un tamaño de muestra adecuado (18 dientes por grupo). Para los resultados que se muestran en el estudio, el tamaño de la muestra fue pequeño ya que el ideal debía ser de 78 dientes por grupo, también presenta un poder estadístico deficiente mostrando un valor del 40% (sabiendo que el ideal es del 80%), por lo tanto no se puede contrastar, además, no se realizó una muestra para los caninos tanto con reducción interproximal y aditamentos en resina.
3. Tratándose de un estudio clínico, para que los hallazgos fueran confiables, se requeriría un control estricto de variables como; (a) horas de uso del alineador, (b) diseño de velocidad y secuencia de movimientos dentales y (c) cantidad y localización de desgastes proximales, las cuales dependen de 3 individuos diferentes (paciente;



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

tecnico Invisalign, asumiendo que fue un solo, lo cual no se especifica; y ortodoncista).

Otro efecto relevante observado en el modelo fue el “rezago” del 28% del canino con respecto a la placa durante la rotación. Atribuimos este fenómeno al deslizamiento que se da entre diente y placa, sumado a la deformación expansiva de la misma durante la rotación, generando expresión incompleta de los movimientos planeados y resultados clínicos inconsistentes, fenómeno observado por Kravitz et al (13) con mayor frecuencia en rotaciones mayores a 15°. Al agregar al modelo aditamentos de complementación biomecánica, el rezago del diente con respecto a la placa durante la rotación se redujo al 5%, validando su importancia en la eficacia clínica de los sistemas de alineadores.

En el estudio retrospectivo de Simon et al (32) investigaron la eficacia de los alineadores en los movimiento de torque (incisivo superior), rotación (premolares) y distalización (molares), CON y SIN aditamentos. Aunque los movimientos de rotación no se realizaron en caninos, después de eliminar un sujeto de la muestra por falta de cooperación, encontraron que los movimientos de rotación SIN aditamentos se dan con menor eficacia (42,4%) que CON aditamentos (47,3%). Adicionalmente concluyeron que la cantidad de movimiento tiene un gran impacto en la predictibilidad del tratamiento. La reducción interproximal y el uso de aditamentos en resina aumentan la previsibilidad del movimiento. Cabe resaltar que utilizaron aditamentos optimizados para rotación que son los utilizados hoy en día por la empresa Invisalign similares a los simulados en el presente estudio.

### 10. CONCLUSIONES

Durante la rotación del canino con alineador plástico termoformado, se generan vectores intrusivos sobre el diente.

Durante la rotación del canino con alineador plástico termoformado se presenta un rezago entre la rotación de la placa y la rotación resultante del diente.

Los aditamentos de complementación biomecánica reducen significativamente tanto el efecto intrusivo durante la rotación, como el rezago entre diente y placa.



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

### 11.RECOMENDACIONES

Es necesario ampliar la base del conocimiento en este tema específico de estas nuevas tecnologías, ya que los aditamentos de complementación biomecánica constituyen uno de los frentes más promisorios del desarrollo de dichos sistemas y continuar con esta línea de investigación y que futuros estudios contengan un mayor número de dientes para evaluar el efecto de los alineadores sobre dientes adyacentes, poco a poco hasta la lograr la simulación sobre la dentición completa, aportaría mayor entendimiento y crear bases científicas más sólidas.

### 12.EVIDENCIA DE RESULTADOS EN GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO, FORTALECIMIENTO DE LA CAPACIDAD CIENTÍFICA Y APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO, FORMACIÓN (VER ANEXO 1)

Estos deben ser coherentes con los objetivos específicos y con la metodología planteada. Los resultados/productos pueden clasificarse en tres categorías:

**Relacionados con la generación de conocimiento y/o nuevos desarrollos tecnológicos:** Incluye resultados/productos que corresponden a nuevo conocimiento científico o tecnológico o a nuevos desarrollos o adaptaciones de tecnología que puedan verificarse a través de publicaciones científicas, productos o procesos tecnológicos, patentes, normas, mapas, bases de datos, colecciones de referencia, secuencias de macromoléculas en bases de datos de referencia, registros de nuevas variedades vegetales, etc.

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario
El resultado que se obtuvo al simular el modelo completo CON y SIN aditamentos fueron: 1) la carga intrusiva que se ejerce sobre el LPD CON y SIN aditamentos en	Informe final de un proyecto de investigación que muestra el efecto biomecánico de un movimiento rotacional en ortodoncia con alineadores aplicando elementos finitos a	Los beneficiarios directos serán los Ortodoncistas que tendrán soporte científico para desarrollar investigaciones posteriores



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

<p>resina evidencio que la relación o cociente de la carga intrusiva SIN aditamentos es 3,71 veces mayor que CON aditamentos. 2) El desplazamiento del canino en el eje Y, CON y SIN aditamentos en resina evidencio que la relación o cociente es 2,5 veces mayor SIN aditamentos que CON aditamentos en resina y finalmente 3) el “rezago” que presenta la rotación del canino sobre la placa, al realizar una rotación de 4° SIN aditamentos el canino se “retrasa” con respecto a la placa un 28% al finalizar el movimiento, lo que corresponde a 1,12°. Y CON aditamentos el canino solo se “retrasa” 5% al finalizar el movimiento</p>	<p>un canino superior derecho.</p>	<p>in-vivo (animales y pacientes), y a futuro también para el paciente ya que se crearán bases teóricas firmes para realizar con mas seguridad tratamientos con alineadores termoplásticos.</p>
---	------------------------------------	---

**Conducentes al fortalecimiento de la capacidad científica nacional:** Incluye resultados/productos tales como formación de recurso humano a nivel profesional o de posgrado (trabajos de grado o tesis de maestría o doctorado sustentadas y aprobadas), realización de cursos relacionados con las temáticas de los proyectos (deberá anexarse documentación soporte que certifique su realización), formación y consolidación de redes de investigación (anexar documentación de soporte y verificación) y la construcción de cooperación científica internacional (anexar documentación de soporte y verificación).

<b>Resultado/Producto esperado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Beneficiario</b>
Formación de nuevos investigadores.	Número de estudiantes de postgrado participantes.	Grupos de investigación INSAO y el de ingeniería mecánica UAM (ARCHYTAS)



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

**Dirigidos a la apropiación social del conocimiento:** Incluye aquellos resultados/productos que son estrategias o medios para divulgar o transferir el conocimiento o tecnologías generadas en el proyecto a los beneficiarios potenciales y a la sociedad en general. Incluye tanto las acciones conjuntas entre investigadores y beneficiarios como artículos o libros divulgativos, cartillas, videos, programas de radio, presentación de ponencias en eventos, entre otros.

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario
Artículo final de investigación	Envío de artículo a revista indexada	Comunidad académica en general
Ponencia a nivel nacional	Presentación del trabajo en un evento a nivel nacional	Comunidad académica en general

### 13. IMPACTOS LOGRADOS

Los impactos logrados son una descripción de la posible incidencia del uso de los resultados del proyecto en función de la solución de los asuntos o problemas estratégicos, nacionales o globales, abordados. Los impactos pueden agruparse, entre otras, en las siguientes categorías: sociales, económicos, ambientales, de productividad y competitividad. Los proyectos de investigación deben incluir una reflexión responsable sobre los efectos positivos o negativos que las actividades a realizar durante **la ejecución del proyecto**, o en la posible implementación de sus resultados, puedan tener sobre el medio natural y la salud humana en el corto, mediano y largo plazo.

Impacto logrado	Plazo (años) después de finalizado el proyecto: corto (1-4 ), mediano	Indicador verificable	Supuestos <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Los supuestos indican los acontecimientos, las condiciones o las decisiones, necesarios para que se logre el impacto esperado.



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

	(5-9), largo (10 o más)		
Se logro resolver una parte del problema, ya que en general no se sabía cuál era la biomecánica exacta de lo que se estaba utilizando en los pacientes y se generaron bases científicas para brindarle al paciente y al clínico seguridad a la hora de aplicar estos tratamientos.	Mediano y largo plazo	Aplicación del conocimiento en investigaciones clínicas	Voluntad de los investigadores para continuar los estudios a nivel clínico

### 14. BIBLIOGRAFÍA

1. Knox J, Jones M, Hubsch P, Middleton J, Kralj B. An Evaluation of the Stresses Generated in a Bonded Orthodontic Attachment by Three Different Load Cases Using the Finite Element Method of Stress Analysis. J Orthod. 2000;27:39-46.
2. Chatzigianni A, Keilig L, Duschner H, Gotz H, Eliades T, Bourauel C. Comparative Analysis of Numerical and Experimental Data of Orthodontic Mini-implants. Eur J Orthod. 2011;33:468-475.
3. Farah J, Craig R, Sikarskie D. Photoelastic and Finite Element Stress Analysis of a Restored Axisymmetric First Molar. J Biomech. 1973;6:511-520.
4. Yettram A, Wright K, Houston W. Centre of Rotation of a Maxillary Central Incisor Under Orthodontic Loading. Br J Orthod. 1977;4:23-27.
5. Gatto E, Matarese G, Di Bella G, Nucera R, Borcellino C, Cordasco C. Load-Deflection Characteristics of Superelastic and Thermal Nickel-Titanium Wires. Eur J Orthod. 2013;35(1):115-123.



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

6. Nanda R, Tosun Y. Biomechanics in Orthodontics: Principles And Practice. 1ra Edición. ed. United States.: Quintessence Publishing CO.; 2010.
7. Ponitz R. Invisible Retainers. Am J Orthod. 1971;59:266-272.
8. McNamara J, Kramer K, Juenker J. Invisible Retainers. J Clin Orthod. 1985;19:570-578.
9. Sheridan J, LeDoux W, McMinn R. Essix Retainers: Fabrication and Supervision for Permanent Retention. J Clin Orthod. 1993;27:37-45.
10. Rinchuse D, Rinchuse D. Active Tooth Movement with Essix-based Appliances. J Clin Orthod. 1977;31:109-112.
11. Lindauer S, Shoff R. Comparison of Essix and Hawley Retainers. J Clin Orthodont. 1998;32:95-97.
12. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome Assessment of Invisalign and Traditional Orthodontic Treatment Compared with the American Board of Orthodontics Objective Grading System. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2005;128:292-298.
13. Kravitz N, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A Prospective Clinical Study Evaluating the Efficacy of tooth Movement with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;135:27-35.
14. Wong B. Invisalign A to Z. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2002;121:540-541.
15. Bollen A, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and Material Stiffness of Sequential Removable Orthodontic Appliances. Part 1: Ability to Complete Treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003;124:496-501.



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

16. Clements K, Bollen A, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and Material Stiffness of Sequential Removable Orthodontic Appliances. Part 2: Dental Improvements. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003;124:502-508.
17. Warunek S, Sorensen S, Cunat J, Green L. Physical and Mechanical Properties of Elastomers in Orthodontic Positioners. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1989;95:388-400.
18. Rost D, Schwarze C, Hilgers R. Die Kraftabgabe von Positionern bei Unterschiedlicher Schneidezahnprotrusion. Eine In-vitro- Untersuchung. Fortschr Kieferorthop. 1995;56:104-109.
19. Barbagallo L, Shen G, Jones A, Swain M, Petocz P, Darendeliler M. A Novel Pressure film Approach for Determining the Force Imparted by clear Removable Thermoplastic Appliances. Ann Biomed Eng. 2008;36:335-341.
20. Kravitz N, Kusnoto B, Agran B, Viana G. Influence of Attachments and Interproximal Reduction on the Accuracy of Canine Rotation with Invisalign. A prospective Clinical Study. Angle Orthod. 2008;78:682-687.
21. Lagravère M, Flores-Mir C. The Treatment Effects of Invisalign Orthodontic Aligners: a Systematic Review. J Am Dent Assoc. 2005;136:1724-1729.
22. Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Zapf A, al. e. Influence of Thermoplastic Appliances Thickness on the Magnitude of Force Delivered to an upper Central Incisor During Tipping. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;136(1):12.e1-7.
23. Hahn W, Fialka-Fricke J, Dathe H, Fricke-Zech S, Zapf A, al. e. Initial Forces Generated by three types of Thermoplastic Appliances on an upper Central Incisor During Tipping. Eur J Orthod. 2009;31(6):625-631.
24. Proffit W. Contemporary Orthodontics. 4rd edn. ed. St Louis: Mosby.; 2008.



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

25. Hahn W, Engelke B, Jung K, Dathe H, Fialka-Fricke J, al. e. Initial Forces and Moments Delivered by Removable Thermoplastic Appliances during Rotation of an Upper Central Incisor. *Angle Orthod.* 2010;80:239-246.
26. Brezniak N. The Clear Plastic Appliance: a Biomechanical Point of View. *Angle Orthod.* 2008;78:381-382.
27. Hahn W, Engelke B, Jung K, Dathe H, Kramer F, al. e. The Influence of Occlusal Forces on Force Delivery Properties of Aligners during Rotation of an upper Central Incisor. *Angle Orthod.* 2011;81:1057-1063.
28. Hahn W, Zapf A, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, al. e. Torquing an upper Central Incisor with Aligners-Acting Forces and Biomechanical Principles. *Eur J Orthod.* 2010;32:607-613.
29. Toms S, Eberhardt A. A Nonlinear Finite Element Analysis of the Periodontal Ligament under Orthodontic Tooth Loading. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123:657-665.
30. Gomez J, Peña F, Martínez V, Giraldo D, Córdoba C. Initial Force Systems During Bodily tooth Movement with Plastic Aligners and Composite Attachments: A Three-Dimensional Finite Element Analysis. *Angle Orthod.* 2015;85:454-460.
31. Osswald T, Menges G. *Materials Science of Polymers for Engineers.* 3<sup>o</sup> edition ed. Kempten-Germany.; 2010
32. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung B.A, Bourauel C. Treatment outcome of an aligner technique – regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health.* 2014;14:68

## 15.ANEXOS



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM


CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

Relacione únicamente los anexos relacionados en el texto, consentimiento informado, formatos de encuesta, entrevistas etc.



	<b>GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM</b>	CÓDIGO: GIN—GUI-001
		VERSIÓN: 01
		FECHA : 23/ENE/2015

## ANEXO 1

### UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES VICERRECTORÍA ACADÉMICA-UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

#### PRODUCTOS DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN POR ÁREAS SEGÚN COLCIENCIAS

#### ✓ **Generación de Nuevo Conocimiento**

##### ➤ **Artículos de Investigación**

- Área de conocimiento
- Título del artículo
- Nombre del Grupo de investigación
- Autores (5)
- Descripción de la revista (nombre, ISSN, número, volumen, paginas, fecha de publicación)
- Tipo (nacional o internacional)
- Categoría de indexación (A1-A2-B-C-NO INDEXADA)

##### ➤ **Libros de Investigación**

- Área de conocimiento
- Título del libro
- Nombre del Grupo de investigación
- Autores (5)
- Descripción del libro ( ISBN, numero, volumen, paginas, fecha de publicación, nombre de la editorial)
- Tipo (Investigación, proyección, formación, arte y literatura)
- Formato (libro impreso, capítulo de libro impreso, libro digital, capítulo de libro digital)
- Categoría de indexación (A1-A2-B-C-NO INDEXADA)

##### ➤ **Productos tecnológicos patentados o en proceso de concesión de la patente**

- Área de conocimiento
- Título dela patente
- Nombre del Grupo de investigación
- Autores (5)
- Tipo (Modelo de utilidad, invención)



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

- Descripción de la patente (Código de la patente otorgado por la Superintendencia de Industria y comercio, número de años de concesión, fecha de inicio y fecha final)
- **Organismos modificados Genéticamente**
  - Área de conocimiento
  - Título del organismo
  - Nombre del Grupo de investigación
  - Autores (5)
  - Descripción del organismo vegetal o animal (Código del certificado de obtentor de variedad vegetal o animal del ICA, número de años de concesión, fecha de inicio y fecha final)

### ✓ **Resultados de Actividades de Investigación**

#### ➤ **Productos Tecnológicos Certificados o Validados**

- Área de conocimiento
- Tipo de producto que registro (diseño industrial, sistema de cálculo integrado, software, planta piloto, prototipo industrial)
- Título del producto tecnológico
- Nombre del Grupo de investigación
- Autores (5)
- Descripción del producto: **diseño industrial** (número del registro, año de obtención, país, número de la gaceta industrial de publicación), **sistema de cálculo integrado** (Número del registro, año, país), **software** (Número del registro aprobado por la Dirección Nacional de derechos de Autor, año), **planta piloto** (número de registro, título de registro, nombre titular, año de obtención, país de obtención), **prototipo industrial** (número de registro, título del registro, nombre del titular, año de obtención, país de obtención).

#### ➤ **Productos Empresariales**

- Área de conocimiento
- Tipo de producto empresarial que registro (**secreto empresarial, empresas de base tecnológica –spin off universitario o empresarial, innovaciones de gestión empresarial**)
- Título del producto empresarial
- Nombre del Grupo de investigación
- Autores (5)



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

- Descripción del producto: **secreto empresarial**(Nombre del producto, valor del contrato, certificación de la institución, número del contrato), **empresas de base tecnológica –spin off**(Resumen estados financieros, nombre de la empresa, sector económico, SIU, certificado cámara de comercio, NIT, certificación institucional), **innovaciones de gestión empresarial**(Nombre innovación, fecha, autor , certificados de implementación, título del proyecto, NIT, nombre de la empresa y documento de tamaño, certificación del producto)
  
- **Regulaciones, Normas, reglamentos o legislaciones**
  - Área de conocimiento
  - Tipo de producto empresarial que registro (norma, reglamento, legislación)
  - Título
  - Nombre del Grupo de investigación
  - Autores (5)
  - Descripción dela norma o acuerdo (fecha del certificado de la institución que emitió el producto, carta de certificación, uso nacional e internacional)
  
- **Consultorías científicas y tecnológicas**
  - Área de conocimiento
  - Tipo de consultoría (científica o tecnológica)
  - Título del consultoría
  - Nombre del Grupo de investigación
  - Autores (5)
  - Descripción del producto (número del contrato o documento que soporta la consultoría, fecha en que se prestó la consultoría, certificación de la empresa (objeto del contrato y calidad de la consultoría)
  
- **Innovación Social**
  - Área de conocimiento
  - Nombre de la innovación social
  - Nombre del Grupo de investigación
  - Autores (5)
  - Descripción dela innovación social (fecha, breve descripción en 10 palabras claves)



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

### ✓ **Apropiación Social del Conocimiento**

#### ➤ **Participación Ciudadana**

- Área de conocimiento
- Tipo de participación ciudadana (proyectos y programas, eventos)
- Título
- Nombre del Grupo de investigación
- Autores (5)
- Descripción del producto: **proyectos y programas, y eventos** (nombre del evento, lugar, fecha, cronograma de actividades, investigador principal, investigadores participantes, nombre comunidad, numero participantes, resumen del evento, pagina web del evento, instituciones patrocinadoras)

#### ➤ **Intercambio y transferencia del conocimiento**

- Área de conocimiento
- Tipo de intercambio de conocimiento (1. programas o proyecto pedagógico de fomento a la investigación científica y al desarrollo científico y tecnológico; 2. programa o proyectos de extensión de RSU; 3. Redes de fomento a la apropiación social)
- Título
- Nombre del Grupo de investigación
- Autores (5)
- Descripción del producto: 1. **programas o proyecto pedagógico de fomento a la investigación científica y al desarrollo científico y tecnológico** (nombre del proyecto, fecha inicio, fecha finalización, entidad gestionaora, investigadores participantes, nombre comunidad resumen, certificado expedido por la institución de la participación del grupo de investigación); 2. **programa o proyectos de extensión de RSU tecnológico** (nombre del proyecto, fecha inicio, fecha finalización, entidad gestionaora, investigadores participantes, nombre comunidad resumen, certificado expedido por la institución de la participación del grupo de investigación); 3. **Redes de fomento a la apropiación social** (Nombre red, fecha inicio, fecha finalización, nombre de la comunidad participante, resumen, objetivo de la red, pagina web de la red)

#### ➤ **Comunicación del Conocimiento**

- Área de conocimiento
- Tipo de intercambio de conocimiento (proyectos de comunicación del conocimiento, generación de contenidos-**Documentos y Contenidos multimedia**)
- Título



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

- Nombre del Grupo de investigación
- Autores (5)
- Descripción del producto: **proyectos de comunicación del conocimiento** (nombre del proyecto, fecha inicio, fecha finalización, entidad gestionaadora, investigadores participantes, nombre comunidad resumen, certificado expedido por la institución de la participación del grupo de investigación), **generación de contenidos-Documentos**: tipo documento: **libro científico, artículo de revista de divulgación, artículo de prensa de divulgación** ( título, autores, fecha, nombre de editorial, revista o periódico, ámbito de circulación, comunidad objetivo, resumen del documento) y **Contenidos multimedia** (tipo contenido, título del contenido, entidades, participantes, ámbitos de transmisión).

### ➤ Circulación del Conocimiento Especializado

- Área de conocimiento
- Tipo de intercambio de conocimiento (eventos científicos (**Ponencias**) redes de conocimiento)
- Título
- Nombre del Grupo de investigación
- Autores (5)
- Descripción del producto: **eventos científicos producto -proyectos de comunicación del conocimiento** (nombre del proyecto, fecha inicio, fecha finalización, entidad gestionaadora, investigadores participantes, nombre comunidad, resumen, certificado expedido por la institución de la participación del grupo de investigación) **y redes de conocimiento producto- proyectos de comunicación del conocimiento** (nombre del proyecto, fecha inicio, fecha finalización, entidad gestionaadora, investigadores participantes, nombre comunidad resumen, certificado expedido por la institución de la participación del grupo de investigación)

### ✓ **Formación de Recursos Humanos**

**Formación: semilleros de investigación, joven investigador, técnico, tecnológico, especialización, especialización clínica, maestría, doctorado, posdoctorado)**

### ➤ Tesis de Doctorado

- Área de conocimiento
- Título de la tesis
- Nombre del Grupo
- Calificación obtenida (Con reconocimiento, aprobada)



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

- Autores (5)
- Nombre del tutor y codirectores
- Institución
- Año
  
- **Tesis de Maestría**
  - Área de conocimiento
  - Título de la tesis
  - Nombre del Grupo
  - Calificación obtenida (Con reconocimiento, aprobada)
  - Autores (5)
  - Nombre del tutor y codirectores
  - Institución
  - Año
  
- **Trabajos de Grado**
  - Área de conocimiento
  - Título de la tesis
  - Nombre del Grupo
  - Calificación obtenida (Con reconocimiento, aprobada)
  - Autores (5)
  - Nombre del tutor y codirectores
  - Institución
  - Año
  
- **Trabajos de ID+I con Formación**
  - Área de conocimiento
  - Título del proyecto
  - Nombre del Grupo
  - Tipo (Joven investigador o investigador en empresa)
  - Autores (5)
  - Nombre del tutor
  - Institución
  - Año
  - Número de personal formado



## GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES UAM

CÓDIGO: GIN—GUI-001

VERSIÓN: 01

FECHA : 23/ENE/2015

### ➤ Apoyo de programas de Formación

- Área de conocimiento
- Título del programa o asignatura
- Nombre del Grupo
- Tipo ( apoyo a la creación de programas académicos de maestría, programas académicos de doctorado, asignaturas de maestría, asignatura de doctorado)
- Autores (5)
- Institución-facultad-departamento
- Identificación del acto administrativo (número del acta con fecha)
- Año
- Anexo pdf del acto administrativo

