

**BIOMECÁNICA DE DIFERENTES FORMAS Y
UBICACIÓN DE ATTACHMENTS PARA EL
MOVIMIENTO DE EXTRUSIÓN DE INCISIVOS
CENTRALES SUPERIORES CON ALINEADORES.
ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS**

ASTRID ELIANA ALBARRACIN
VALDERRAMA

ANNY XIMENA QUIMBAYO MONTEALEGRE
ANGELICA MARCELA UBAQUE SILVA

INVESTIGADORES

ESTUDIANTES

ASTRID ELIANA ALBARRACIN VALDERRAMA
ANNY XIMENA QUIMBAYO MONTEALEGRE
ANGELICA MARCELA UBAQUE SILVA

ASESORA CIENTÍFICA
DRA: LUZ ANDREA VELANDIA



INTRODUCCIÓN

EVOLUCIÓN DE LOS ALINEADORES Y PAPEL DE LOS **ATTACHMENTS**



1. EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

- Diseño digital CAD/CAM
- Impresión 3D
- Mayor precisión clínica
- Planificación exacta a los brackets



2. LIMITACIONES CLÍNICAS



EXTRUSIÓN DENTAL

- El alineador puede "traccionar" dientes.
- La fuerza se transmite desde una superficie plástica.
- Menor predictibilidad del movimiento dentario.



3. SOLUCIÓN BIOMECÁNICA: ATTACHMENTS



Mejoran la
retención del
alineador



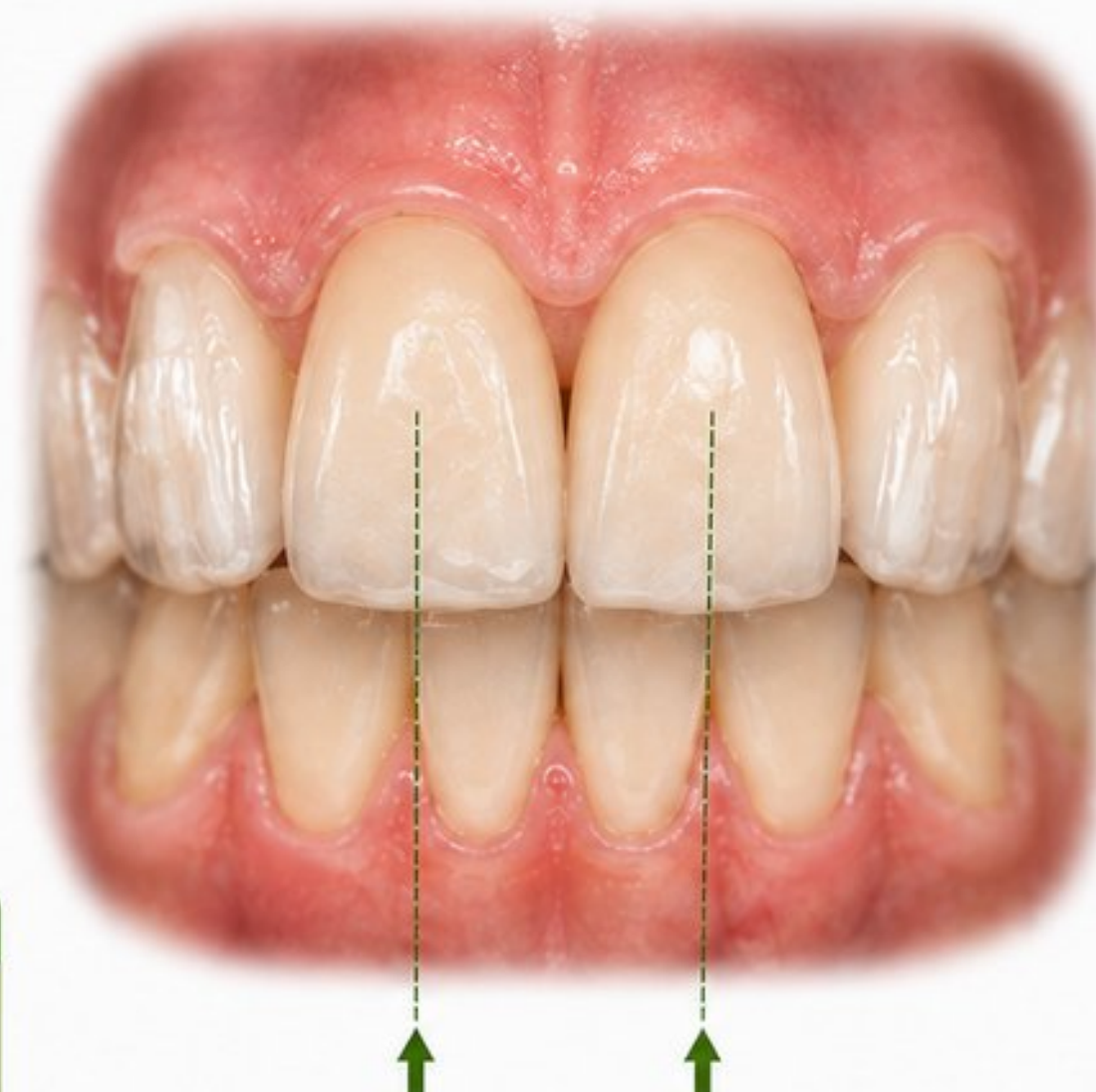
Incrementan
el anclaje



Optimizan la
transmisión de
la fuerza



Aumentan la
predictibilidad del
movimiento
ortodóncico



EXTRUSIÓN

(DENTALES SUPERIORES EXTRUIDOS)



DISEÑO DIGITAL
CAD/CAM



IMPRESIÓN
3D



ALTERNATIVA
ESTÉTICA Y
FUNCIONAL

DESAFÍOS BIOMECÁNICOS DEL MOVIMIENTO DE EXTRUSIÓN



La extrusión es uno de los **movimientos más difíciles de lograr** con alineadores.



Los alineadores ejercen fuerzas de **empuje**, no de tracción.



Pueden aparecer **movimientos indeseados** como inclinaciones o pérdida de control radicular.



La extrusión requiere **elementos auxiliares** que transformen las fuerzas en más eficientes.



Los **attachments** aumentan la superficie de contacto, mejoran la retención y permiten una extrusión más predecible.



SIN ATTACHMENTS



- Menor contacto
- Fuerzas mal direccionadas
- Mayor riesgo de inclinación

VS

CON ATTACHMENTS



- Mayor contacto
- Fuerzas mejor direccionadas verticalmente
- Extrusión más predecible y controlada

INFLUENCIA DE DISEÑO Y UBICACIÓN DE LOS ATTACHMENTS



ATTACHMENTS CONVENCIONALES

- Rectangulares
- Diseño simple



ATTACHMENTS OPTIMIZADOS

- Mayor predictibilidad
- Mejor distribución de fuerzas



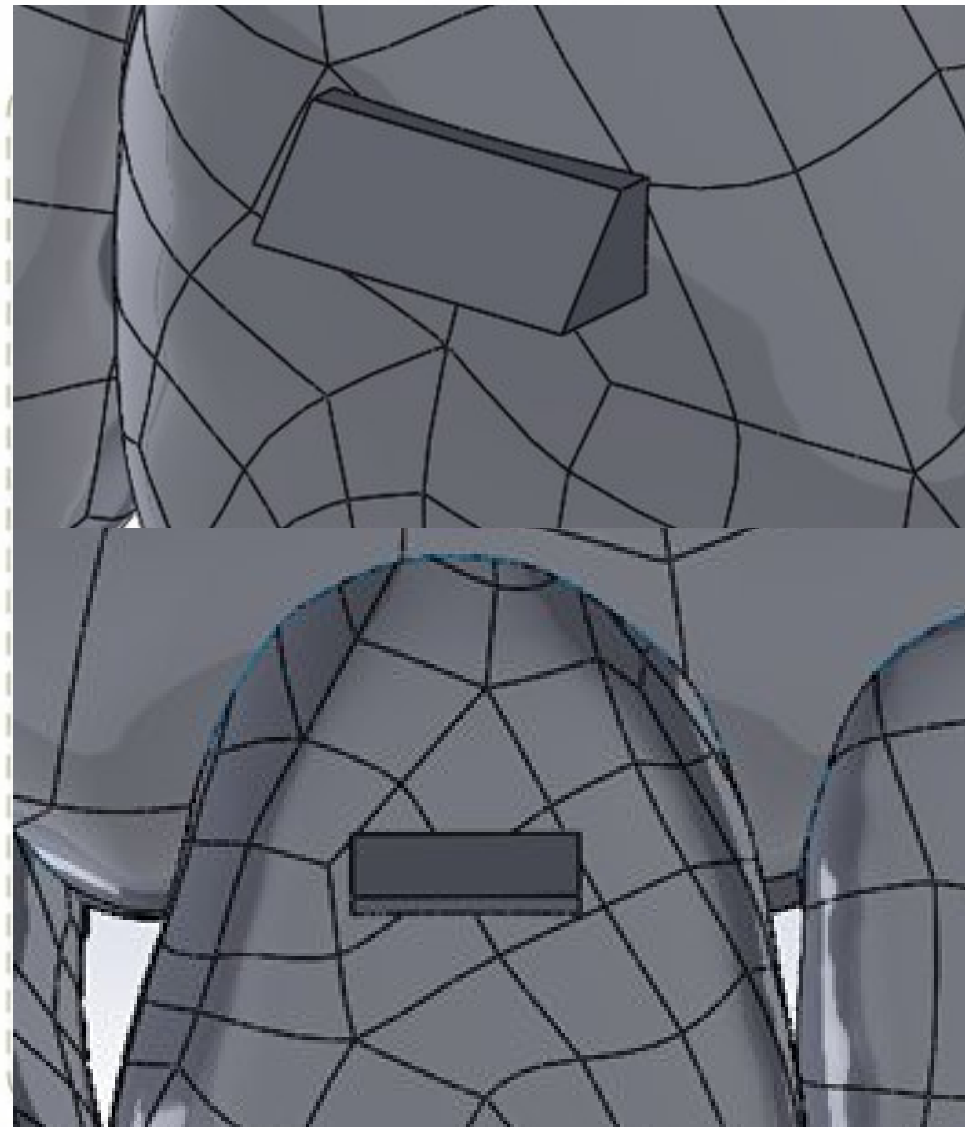
DISEÑO Y GEOMETRÍA

- Biselado → favorece extrusión
- Elipsoidal → mayor control



UBICACIÓN

- Incisal → mayor activación extrusiva
- Gingival → menor eficiencia



DISEÑO Y GEOMETRÍA

BISELADO

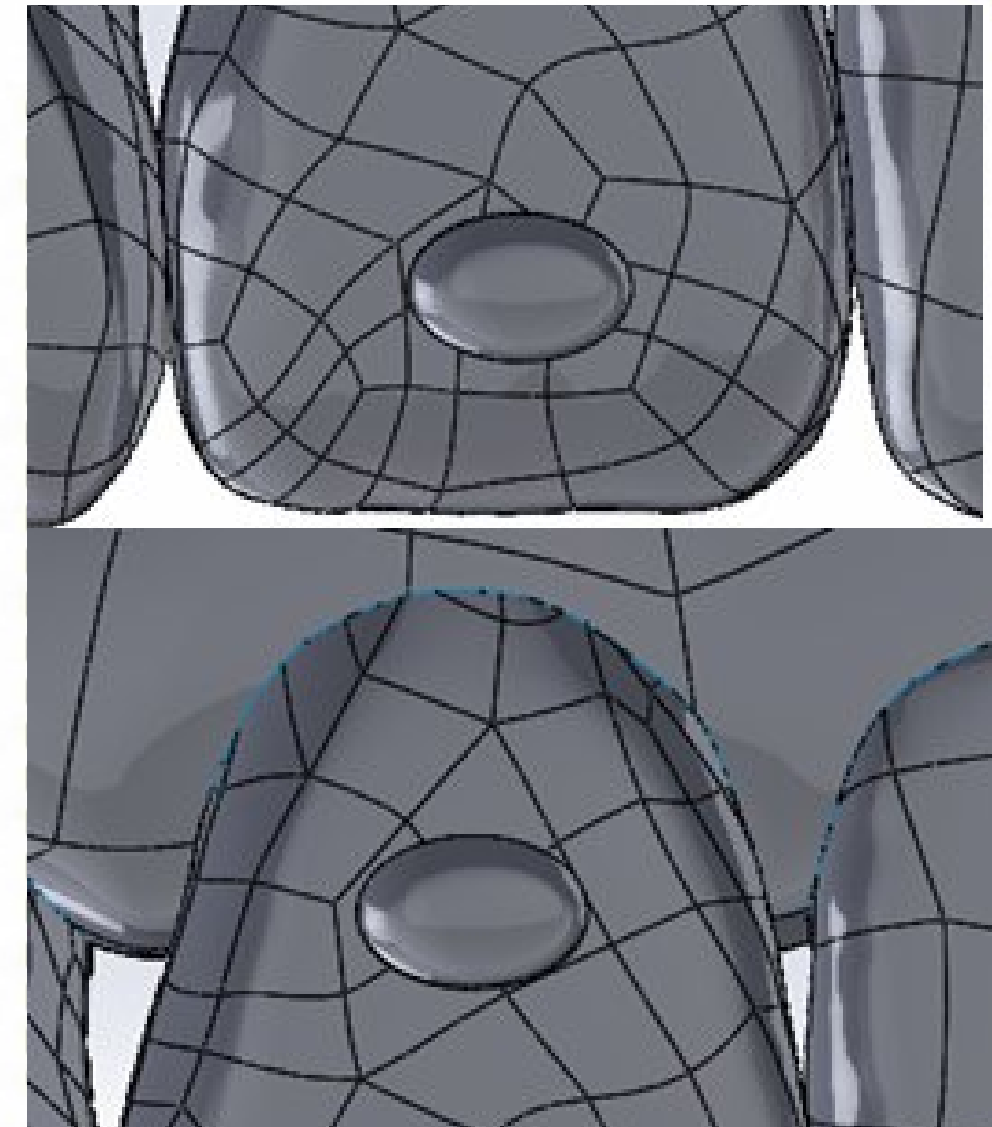


Fuerza alineada al eje dental

ELIPSOIDAL



Distribución homogénea



UBICACIÓN DEL ATTACHMENT

INCISAL



Mayor activación extrusiva

GINGIVAL



Menor eficiencia extrusiva



Herramienta computacional que simula el comportamiento biomecánico de estructuras.



Permite **visualizar** tensiones, deformaciones y fuerzas en tejidos de soporte.



Permite **comparar** diferentes configuraciones biomecánicas sin intervenir en pacientes.



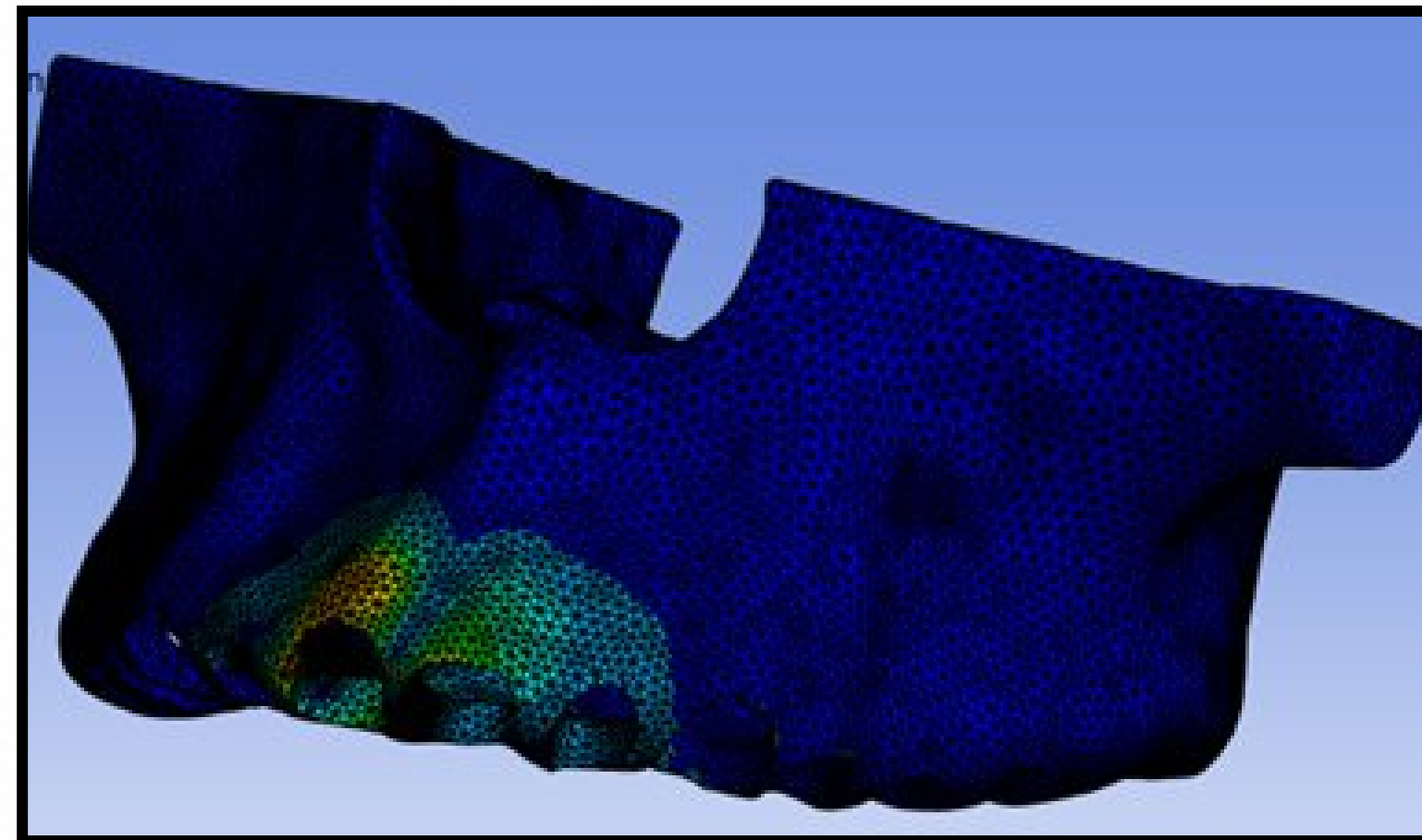
Evalúa cómo la forma y ubicación de attachments modifica la transmisión de fuerzas en la extrusión.



Identifica configuraciones más **eficaces** y con distribución de tensiones más homogénea y segura.



El FEM permite **comprender y optimizar la biomecánica de la extrusión** para lograr movimientos más predecibles y seguros.



OBJETIVO GENERAL

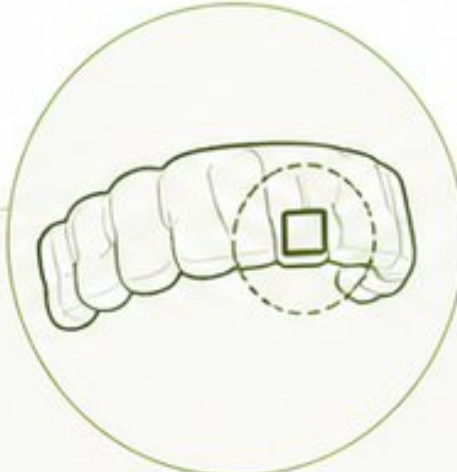
Evaluar el efecto de la **forma** y la **ubicación** de **attachments** sobre la **respuesta biomecánica** del sistema alineador–diente–periodonto durante la extrusión simulada de un incisivo central superior mediante **análisis de elementos finitos**.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS



OBJETIVO 1

Comparar el efecto del diseño y la posición del attachment sobre la **deformación y el esfuerzo** del diente, ligamento periodontal, hueso cortical y hueso trabecular.



OBJETIVO 2

Comparar el efecto del diseño y la posición del attachment sobre la **deformación y la distribución del esfuerzo** en el sistema alineador-attachment.



OBJETIVO 3

Comparar el desplazamiento inicial obtenido mediante **análisis de elementos finitos** y el movimiento acumulado estimado a partir de una **modelación matemática** complementaria, según el diseño y la posición del attachment.

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO METODOLÓGICO



TIPO DE ESTUDIO:

Observacional por medio de un modelo matemático.



OBJETO DE ESTUDIO:

Extrusión de dientes centrales superiores.



INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:

ANSYS.



UNIDAD DE MEDIDA:

Megapascals para deformación, mm para estrés y mm para extrusión.



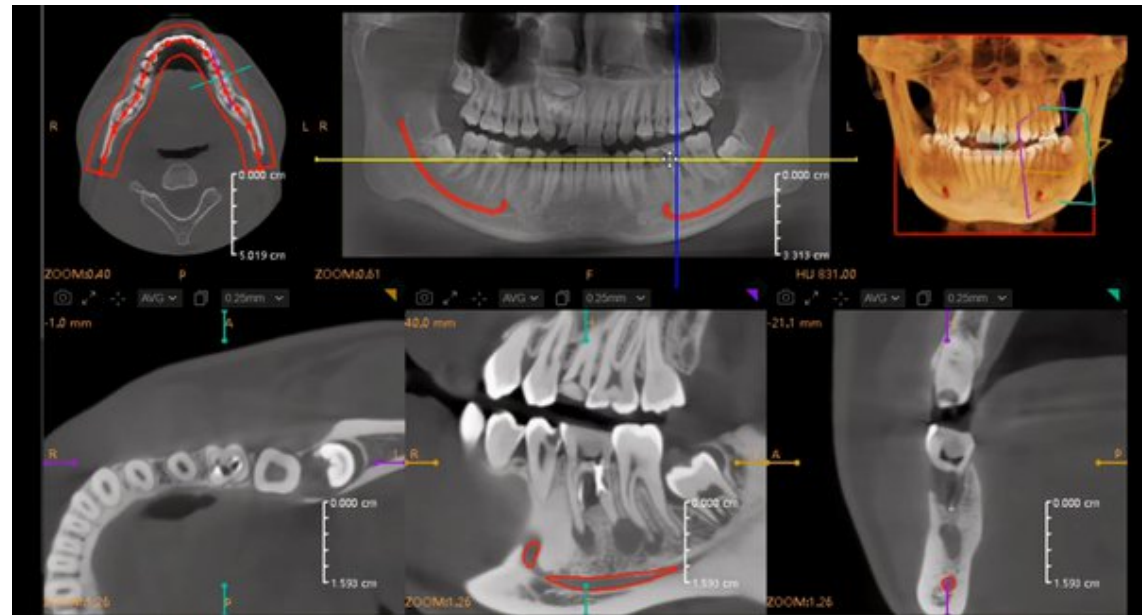
MUESTRA:

Attachments biselados y elipsoidales.

PROCEDIMIENTO

1

Selección de una
CBCT de archivo de
historias clínicas.



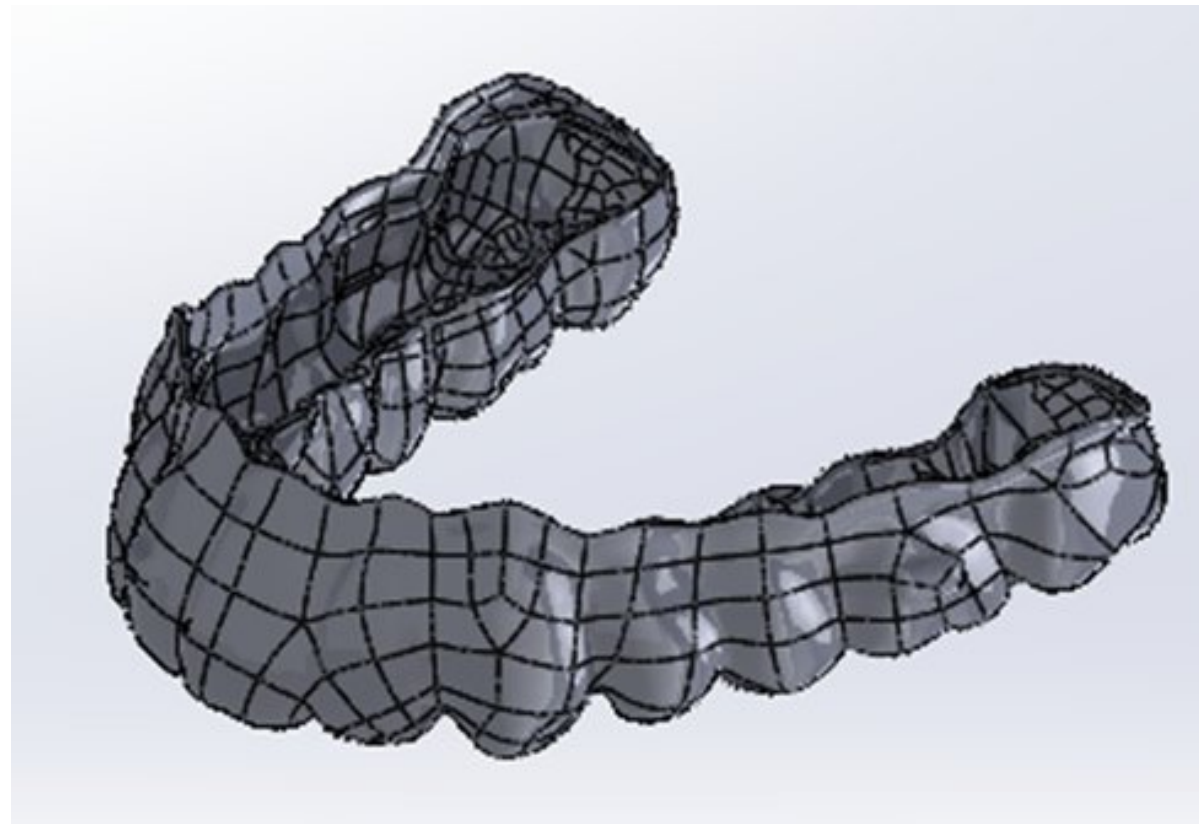
2

Reconstrucción
anatómica 3D
(segmentación y
fusión STL-DICOM)



3

Diseño CAD de
alineadores y
attachments



4

Generación del
modelo FEM,
enmallado e intrusion
de diente 11 1mm

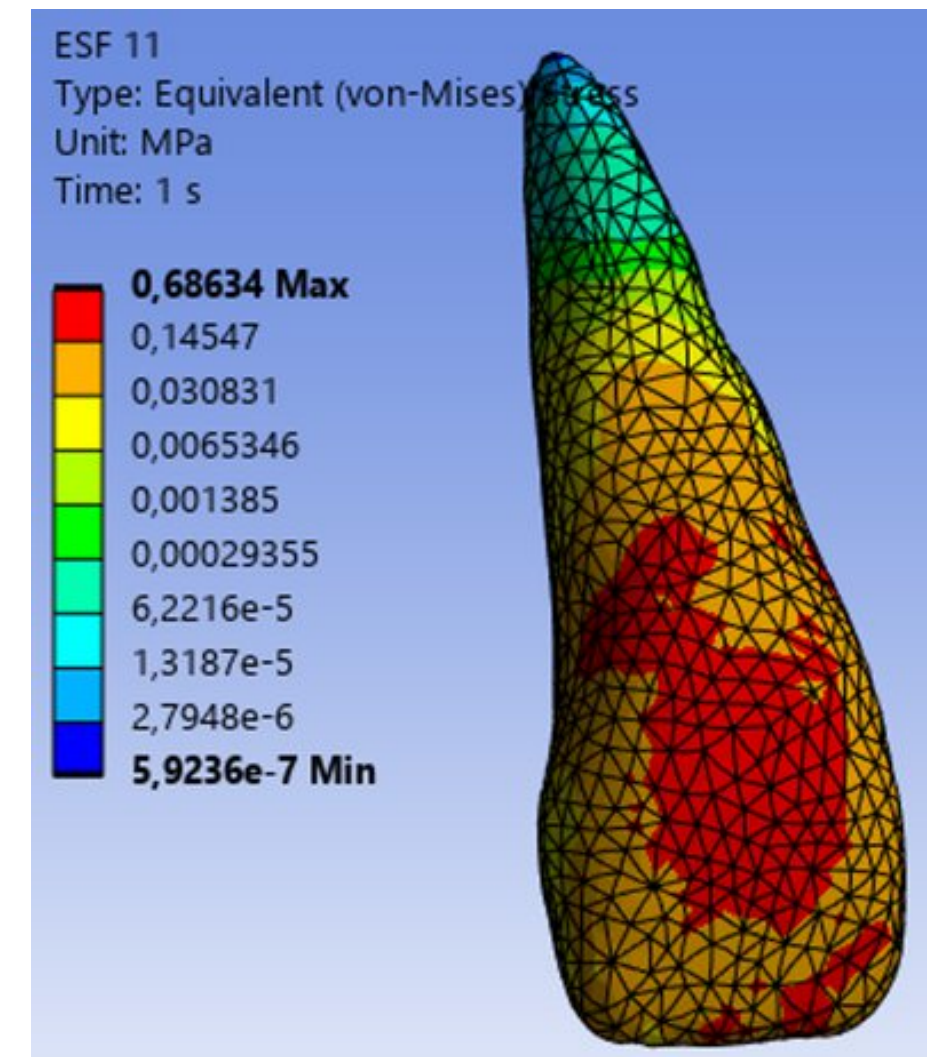
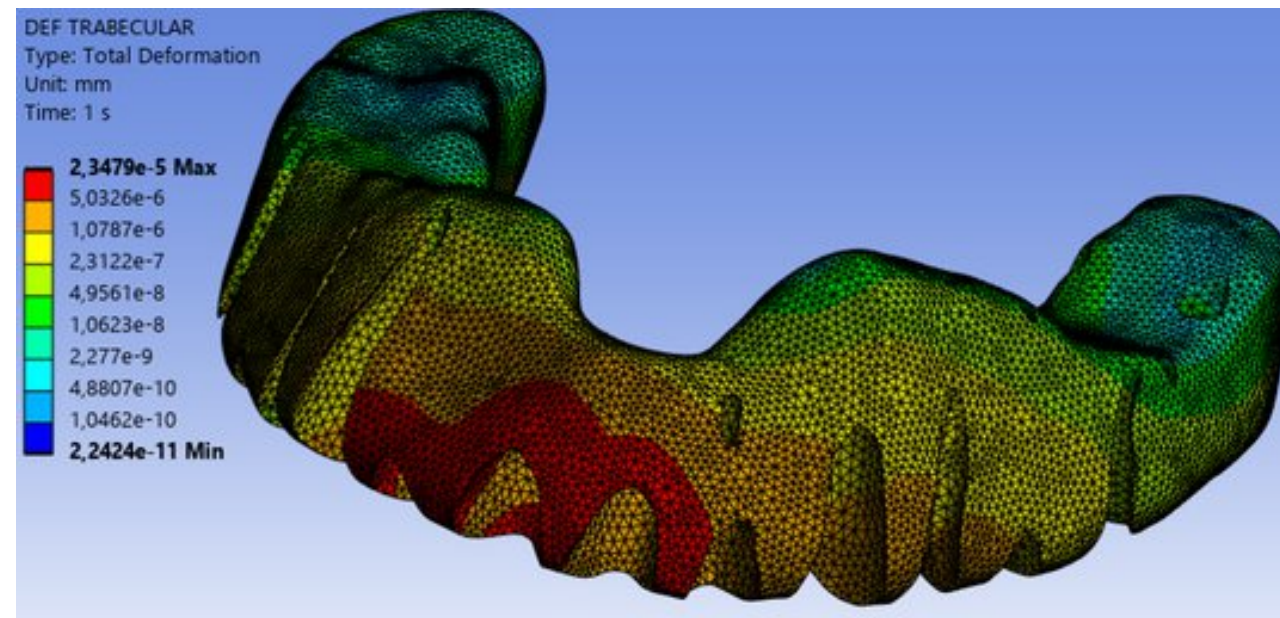


5

Análisis de esfuerzos,
deformaciones y
fuerzas

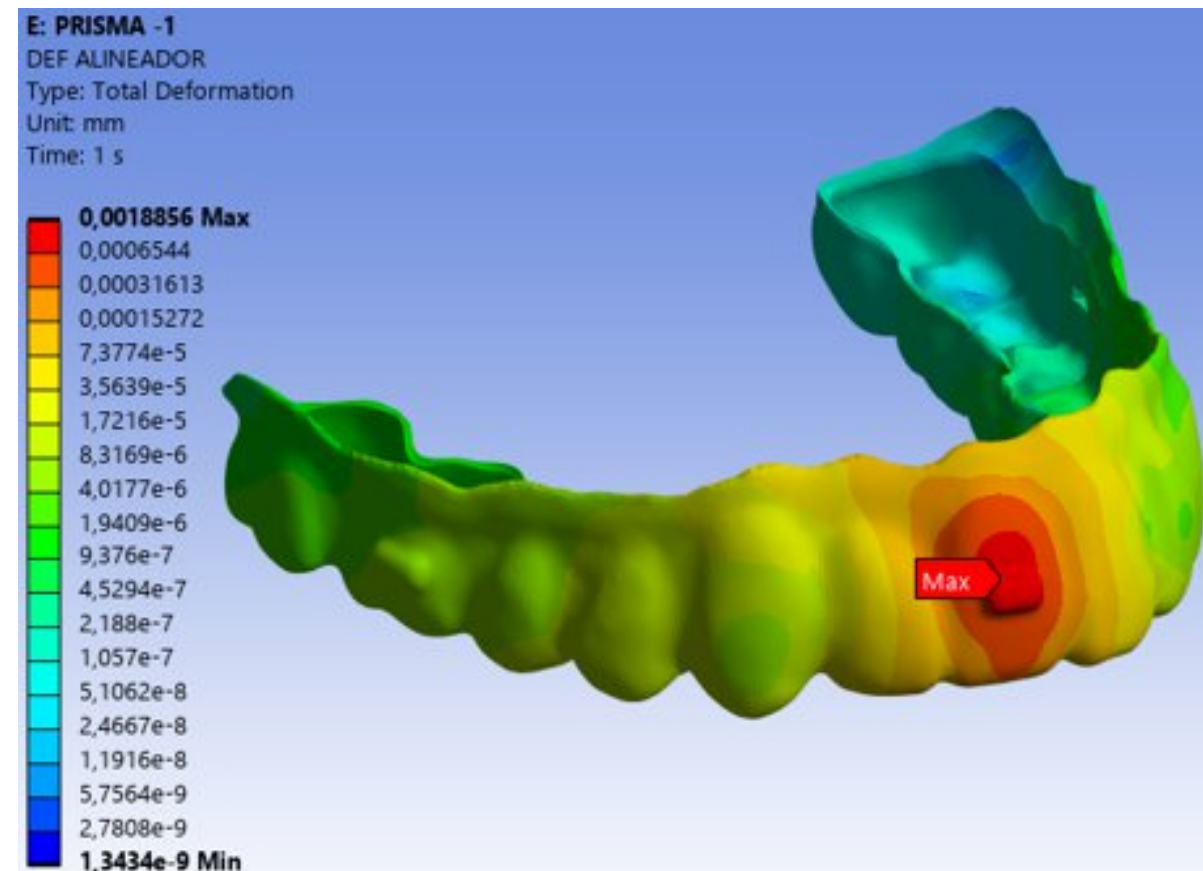
6

Simulación
biomecánica



7

Configuración de
contactos y
condiciones de carga



8 ASIGNACION DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN EL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

MATERIAL	MODULO DE YOUNG (MPa)	POISSON
DIENTE	20.000	0.30
HUESO	13.000	0.30
PET-G	2.050	0.30
ATTACHMENT	20.000	0.30
LPD	0.059	0.49

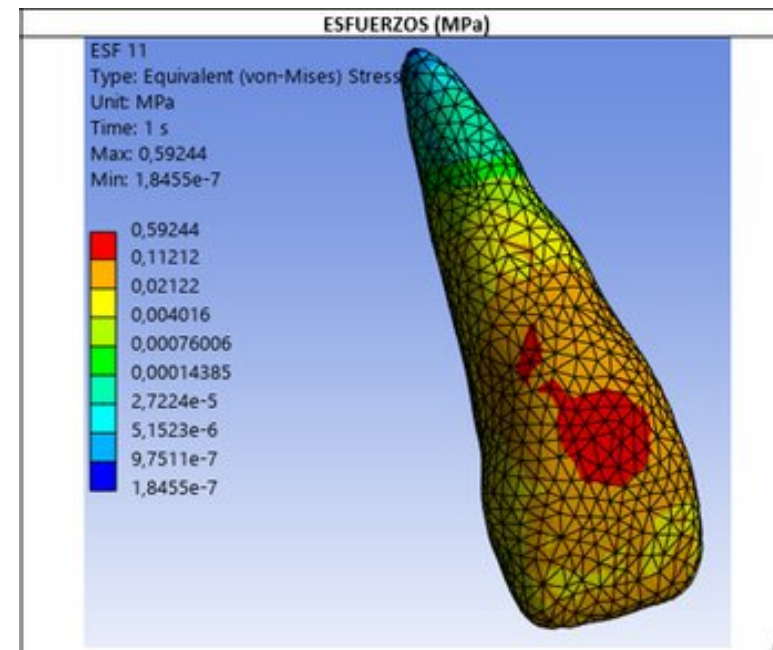
Jiang, T., Wu, R., Wang, J. K., Wang, H. H., & Tang, G. H. (2020). Clear aligners for maxillary anterior en masse retraction: A 3D finite element study. Scientific Reports, 10(1), 10156. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67273-2>

RESULTADOS

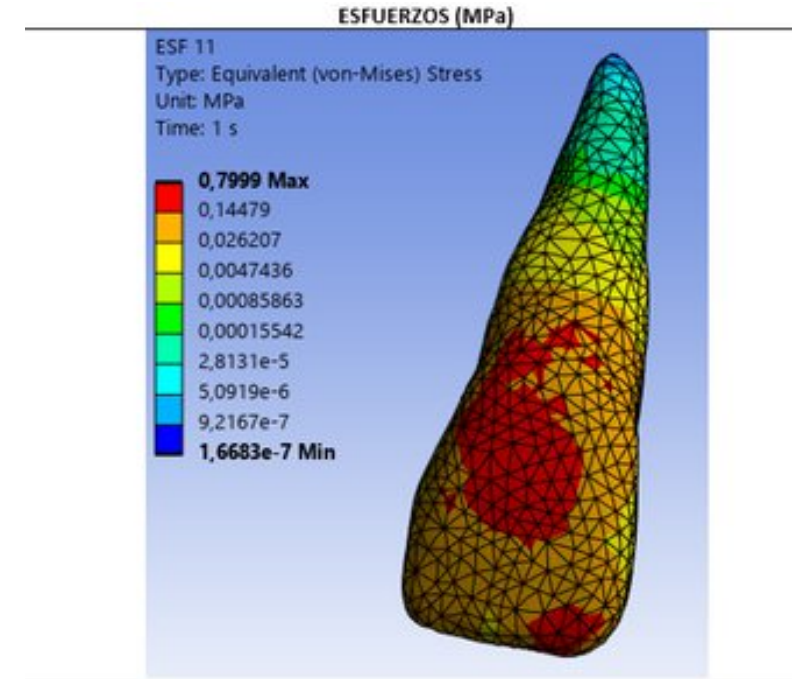
ATTACHMENT BISELADO VS ELIPSOIDAL (DIENTE-VON MISES)

BISELADO

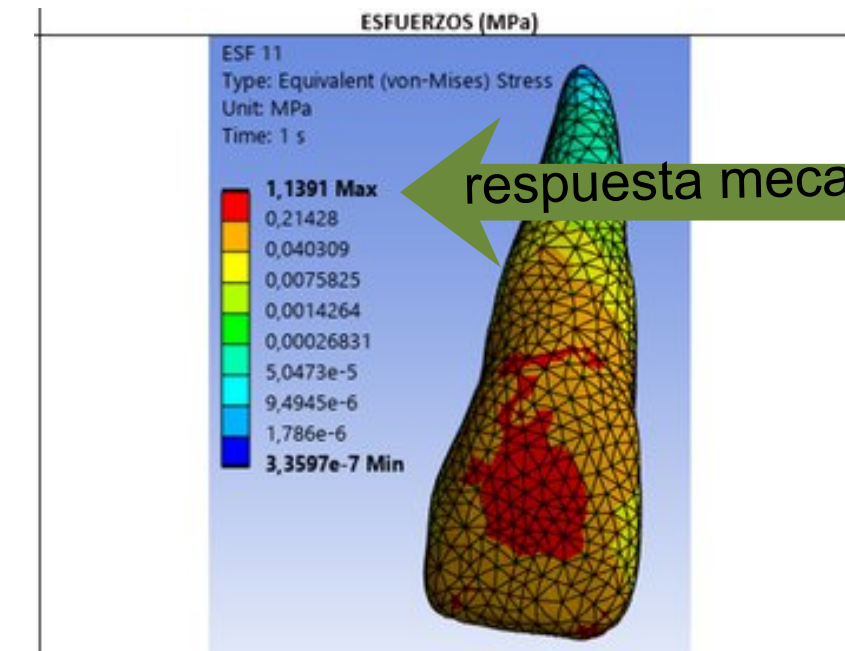
1. tensiones mecanicas
2. concentración de tensión
3. distribución de esfuerzos a



GINGIVAL



CENTRAL



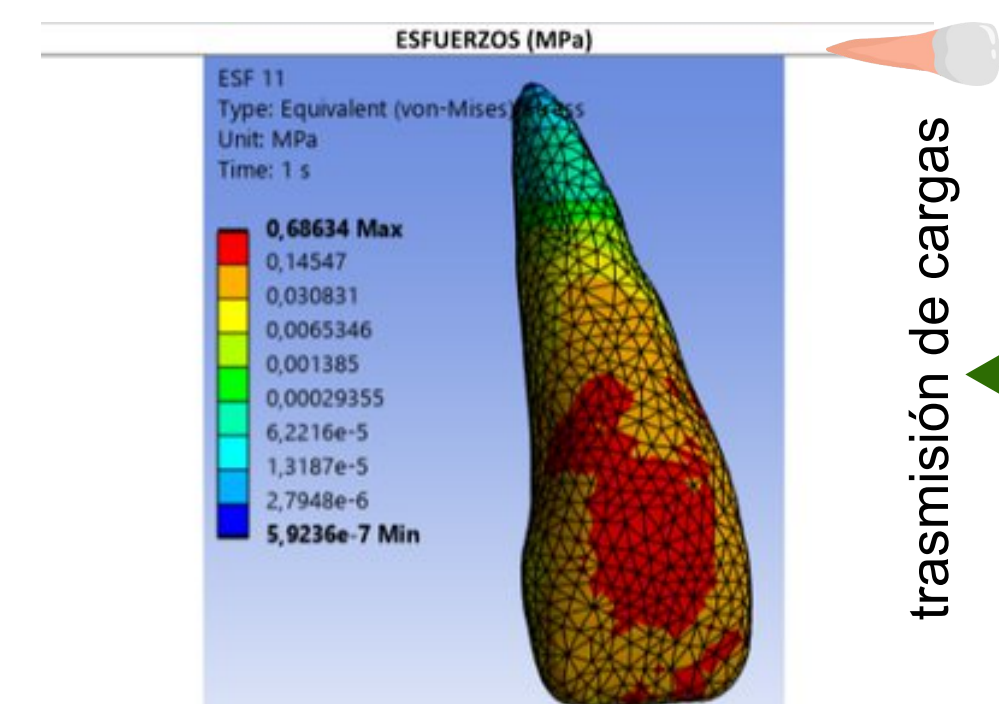
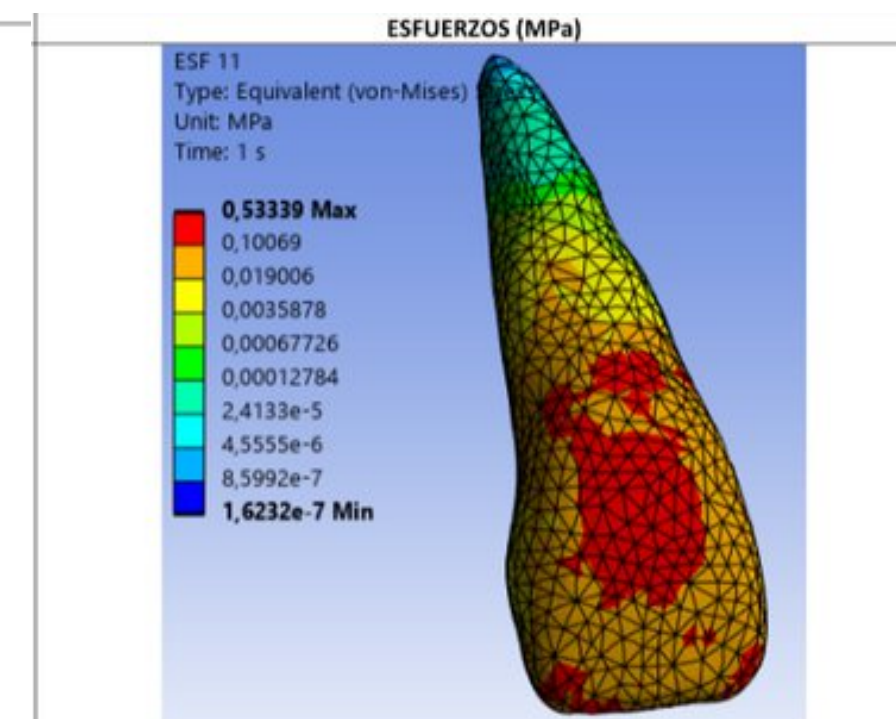
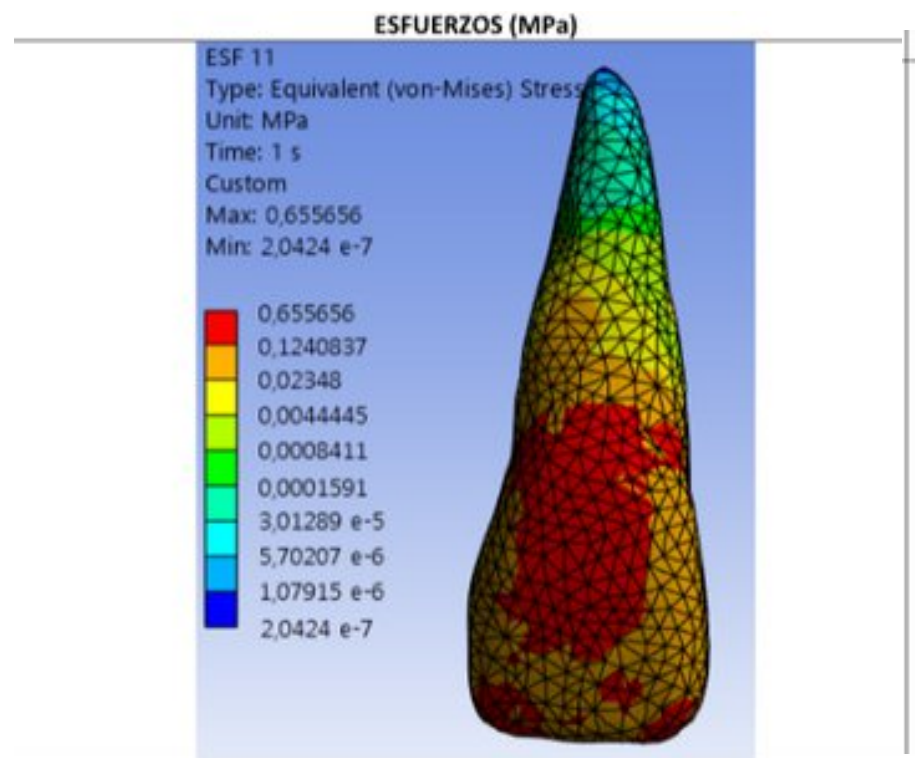
INCISAL

respuesta mecanica

concentracion de
esfuerzo superior

ELIPSOIDAL

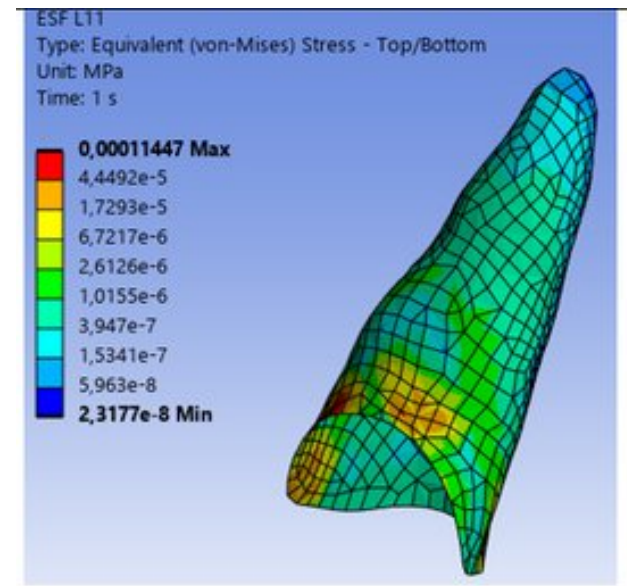
1. distribución homogenea de tensiones



trasmisión de cargas

ATTACHMENT BISELADO VS ELIPSOIDAL (LIGAMENTO)

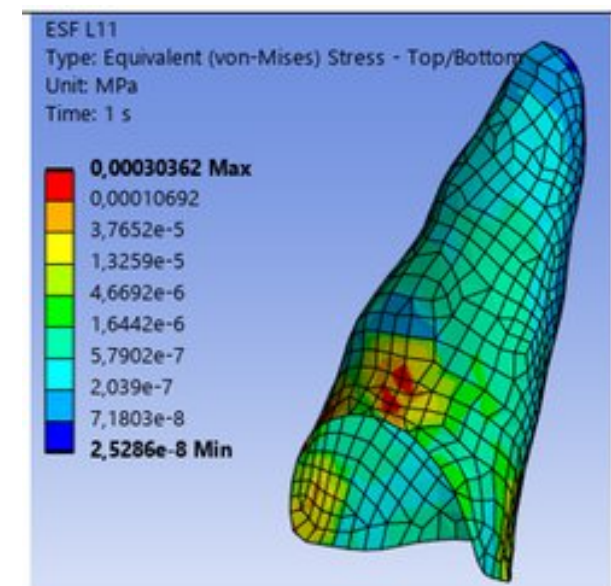
BISELADO



fuerza inducida
magnitud de F



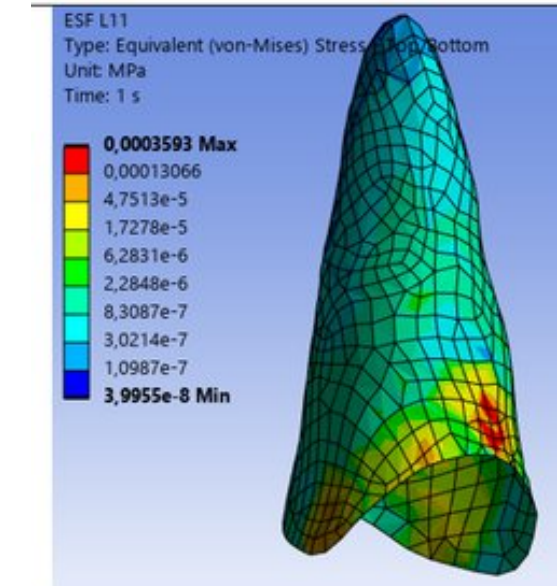
GINGIVAL



2.059 N



CENTRAL



2.695 N

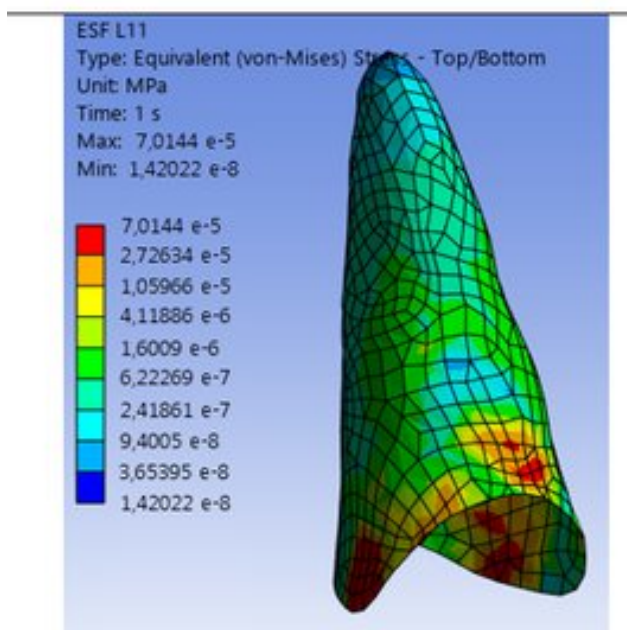


INCISAL

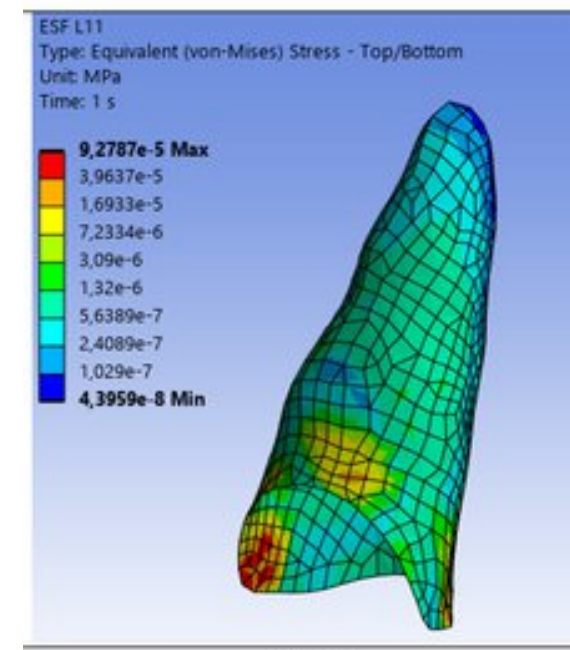


mayor activación
periodontal y carga

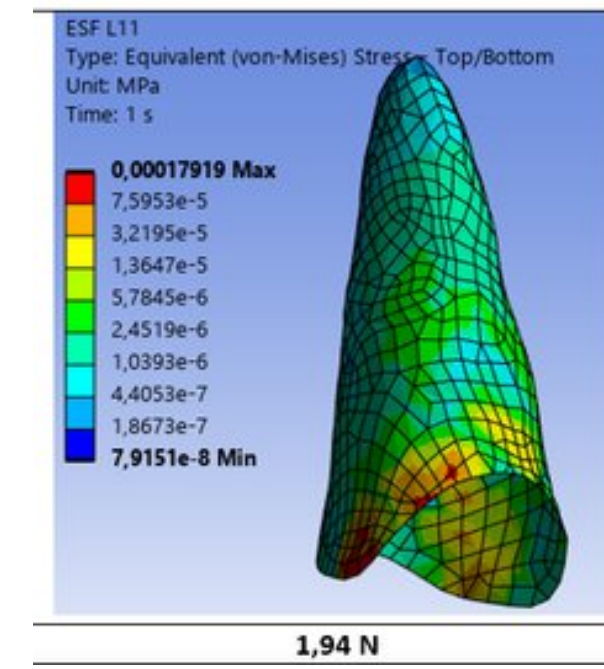
ELIPSOIDAL



0.84 N



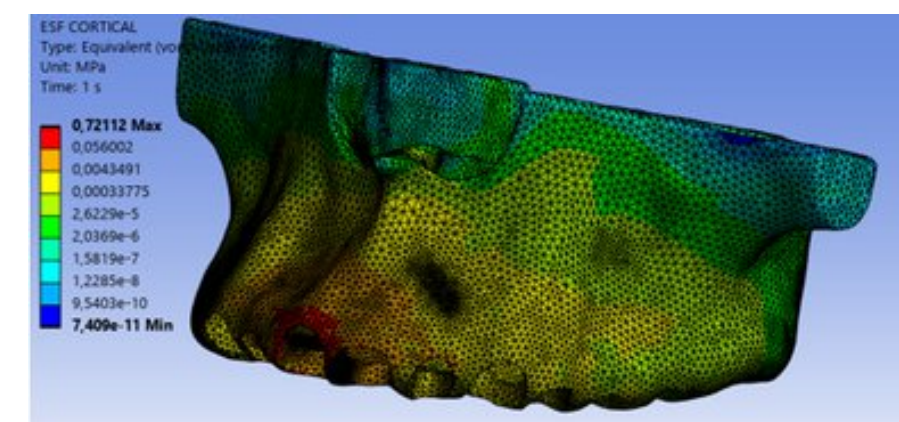
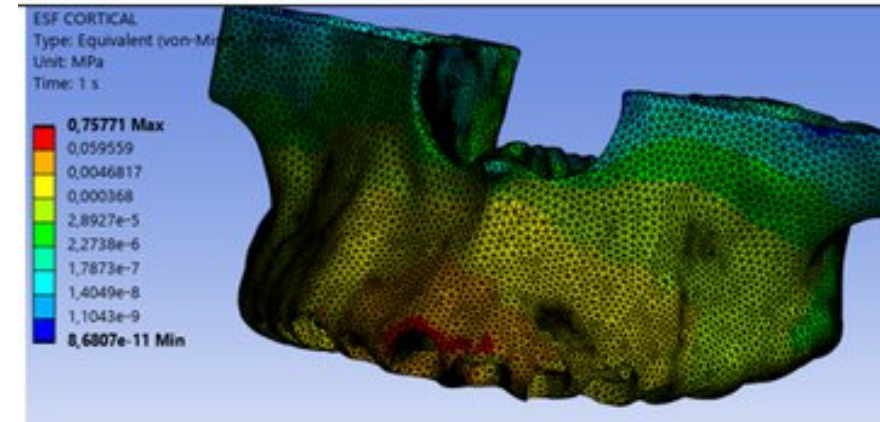
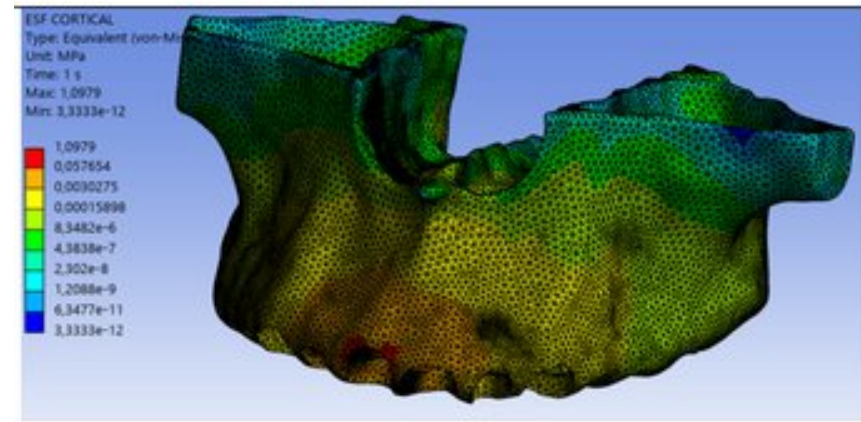
1.52 N



1.94 N

ATTACHMENT BISELADO VS ELIPSOIDAL (CORTICAL-VON MISES)

BISELADO



- 1.capa compacta recibe las cargas
- 2..esfuerzo en cortical-proceso alveolar
- 3.carga transmitida D-LP- ES



mayor valor cortical

GINGIVAL



CENTRAL

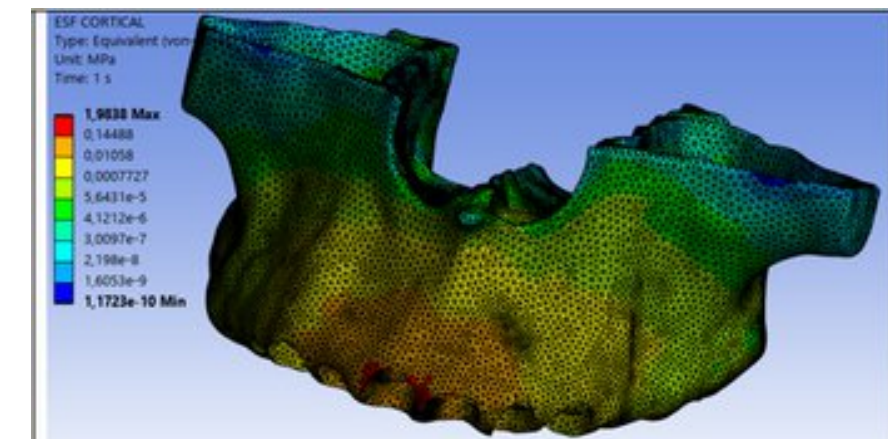
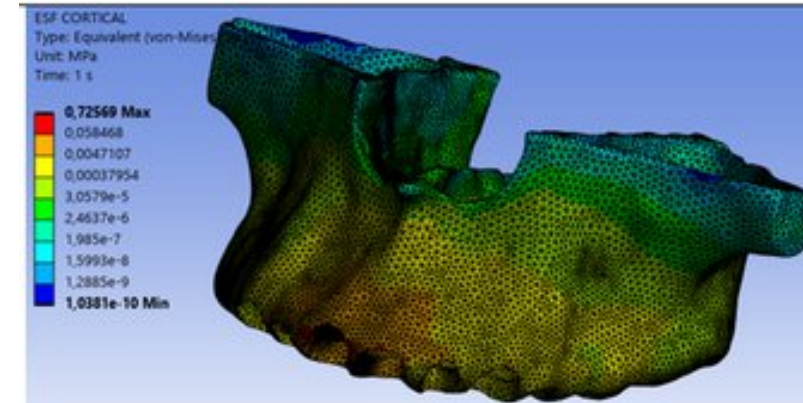
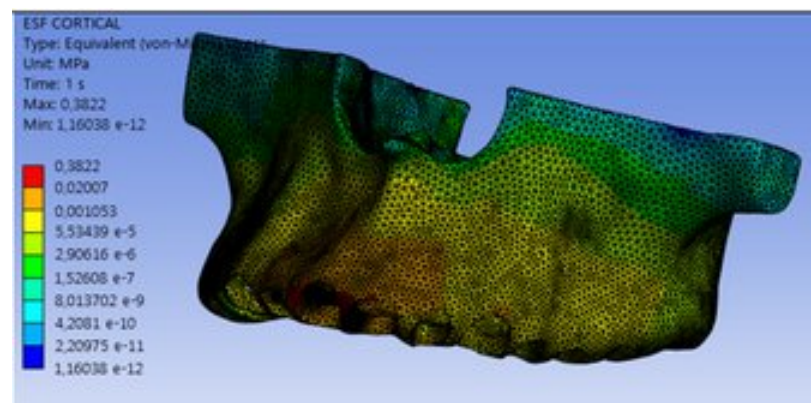


INCISAL



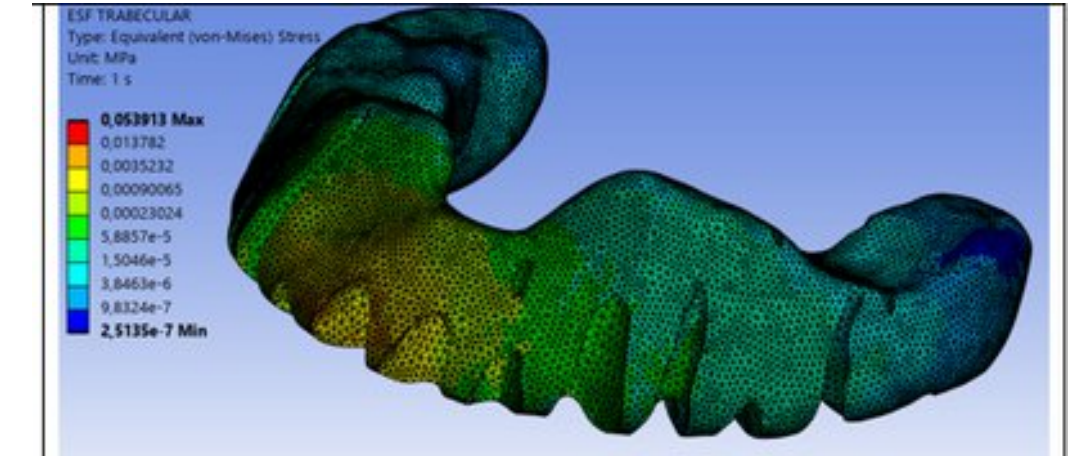
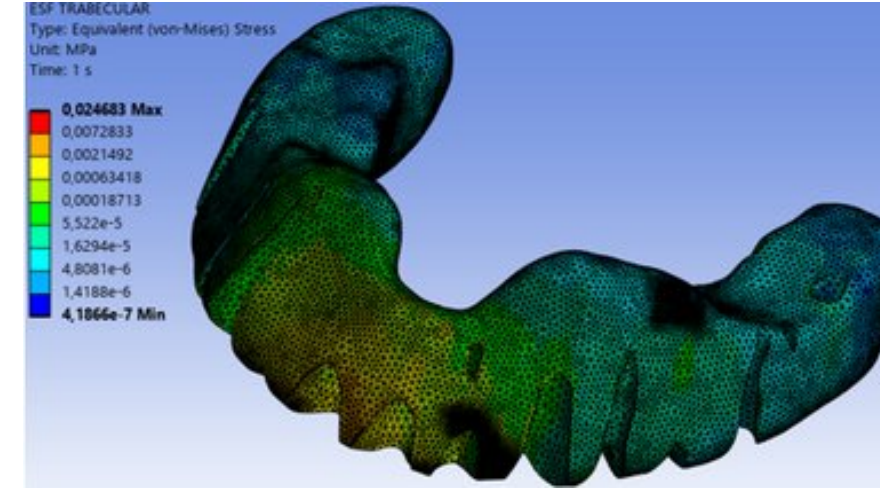
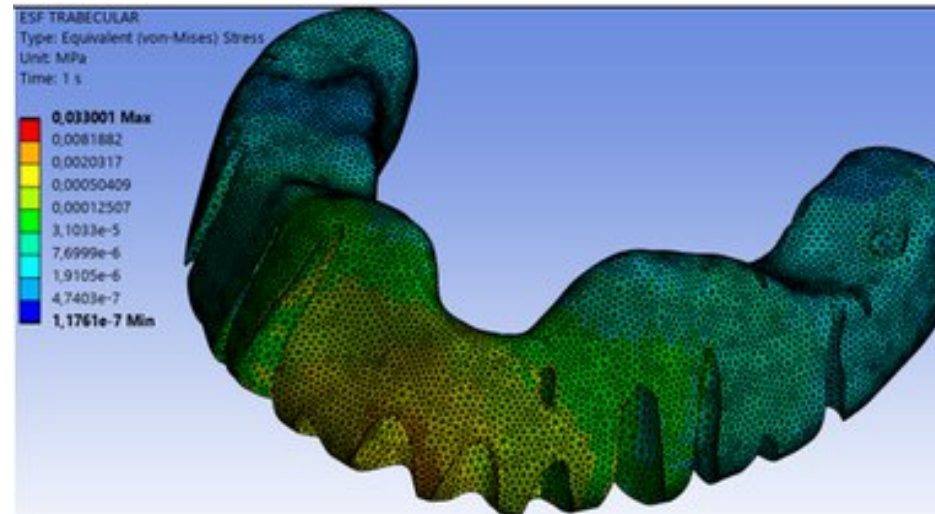
redistribución de cargas
la carga se dispersa a superficie amplia y el patron cambia

ELIPSOIDAL



ATTACHMENT BISELADO VS ELIPSOIDAL (TRABECULAR)

BISELADO



porción interna y
esponjosa
absorber y disipar

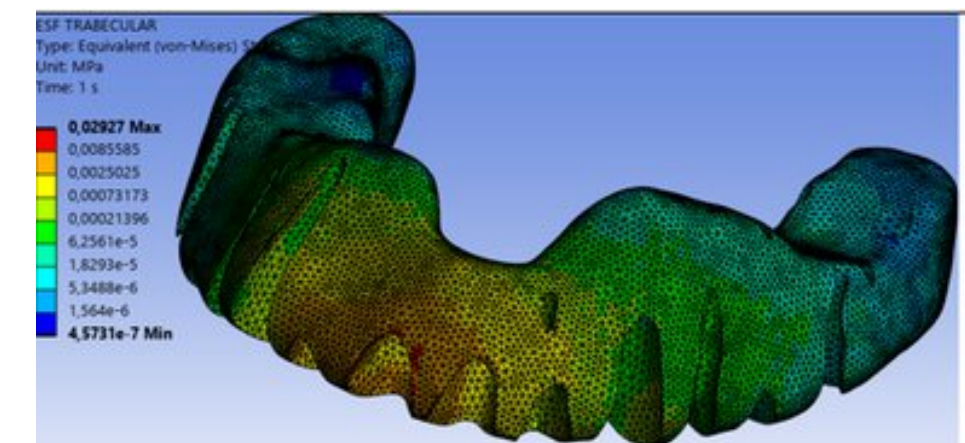
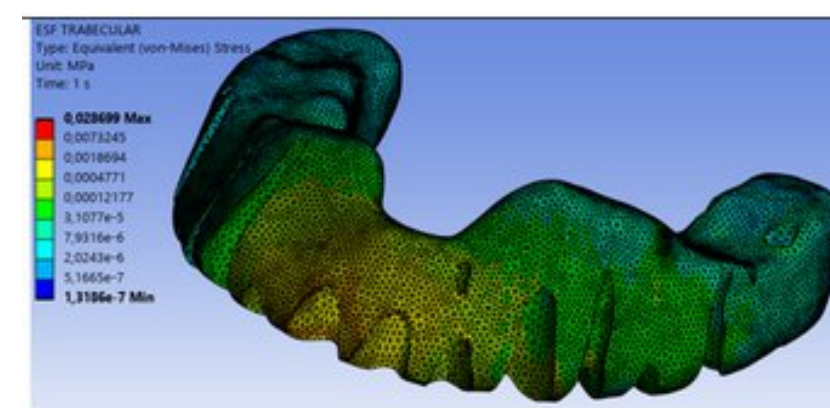
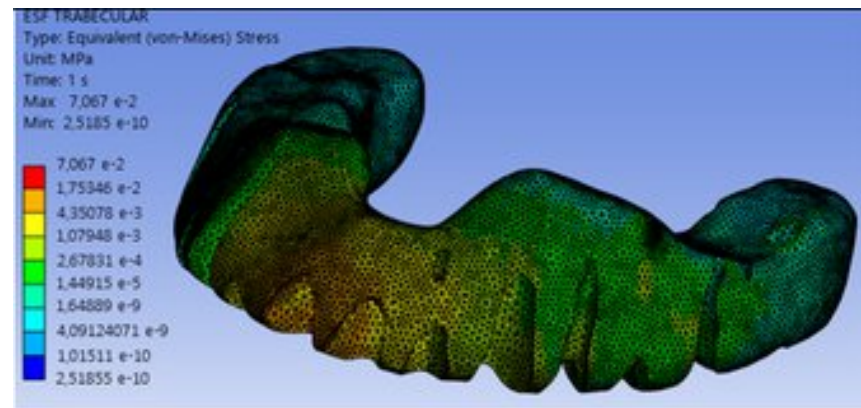
↑
GINGIVAL
↓

↑
CENTRAL
↓

↑
INCISAL
↓

al llegar al hueso
carga redistribuida
por ES

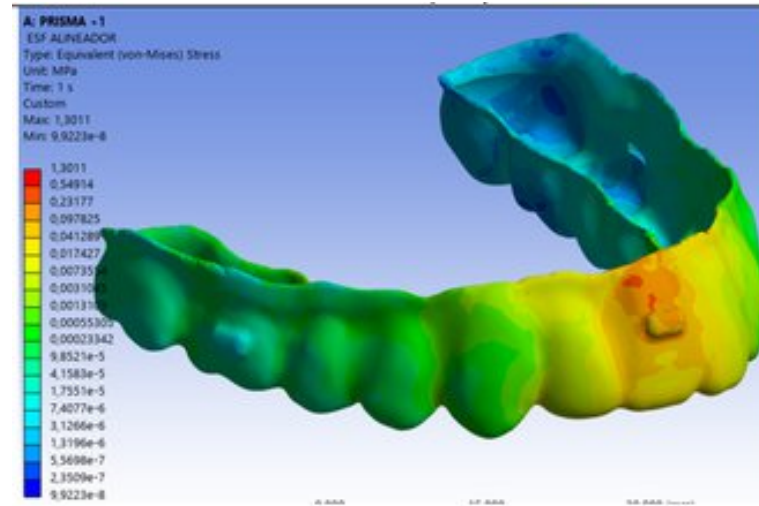
ELIPSOIDAL



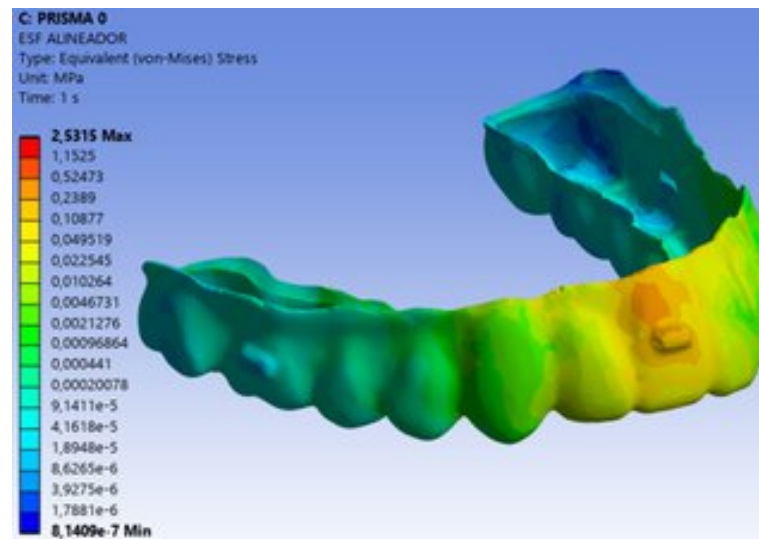
BISELADO

ELIPSOIDAL

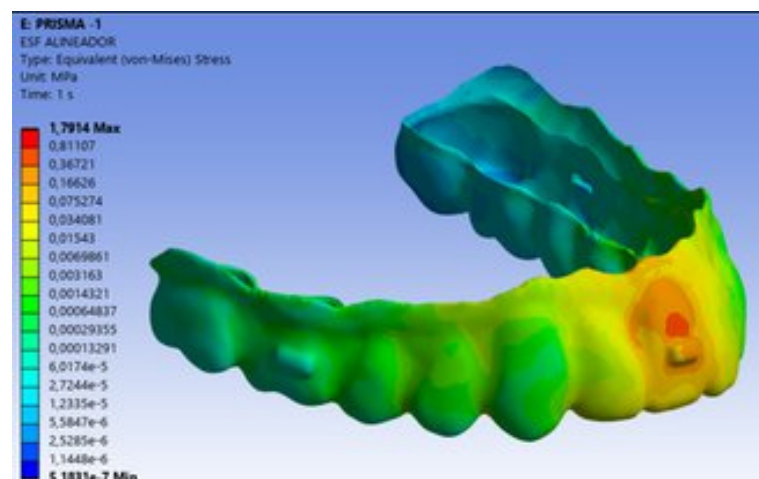
GINGIVAL



CENTRAL



INCISAL

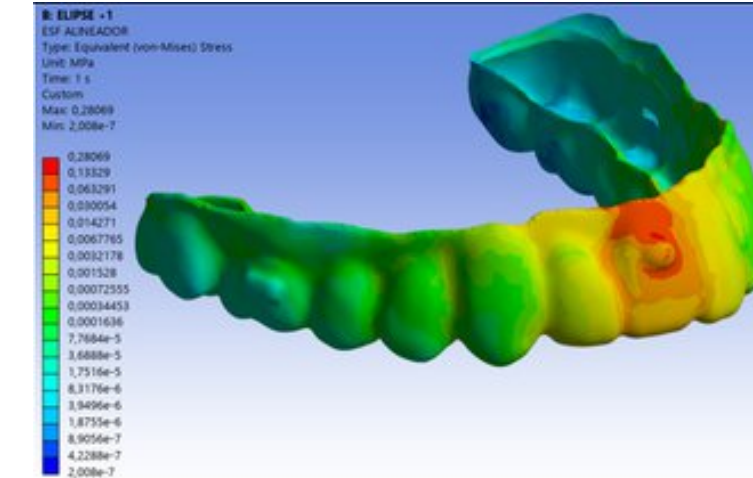


punto de
transferencia de F

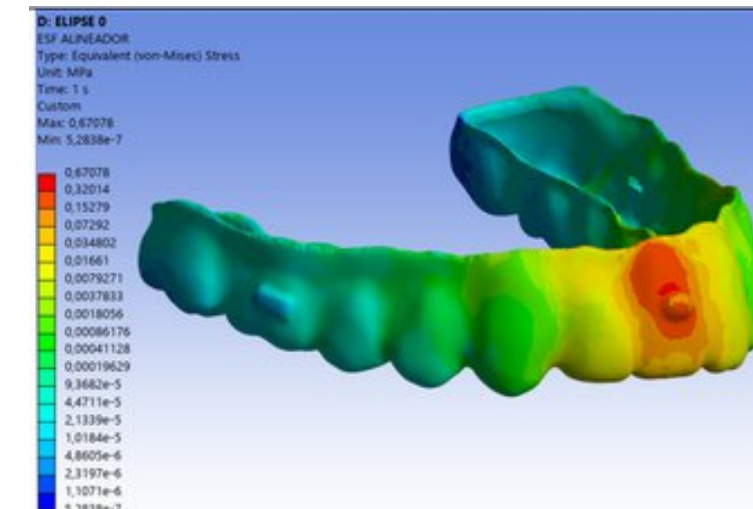
geometria y
posición: almacena y
transmite la energia
mecanica

biselado-
transferencia de F
alineador- diente-
extrusión

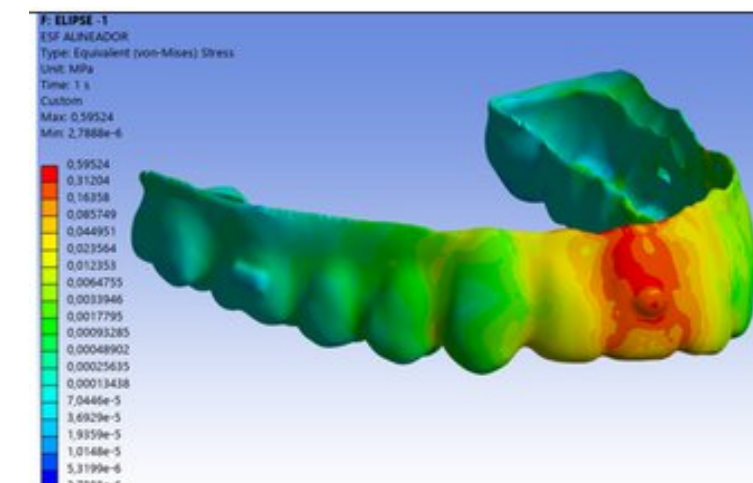
GINGIVAL



CENTRAL

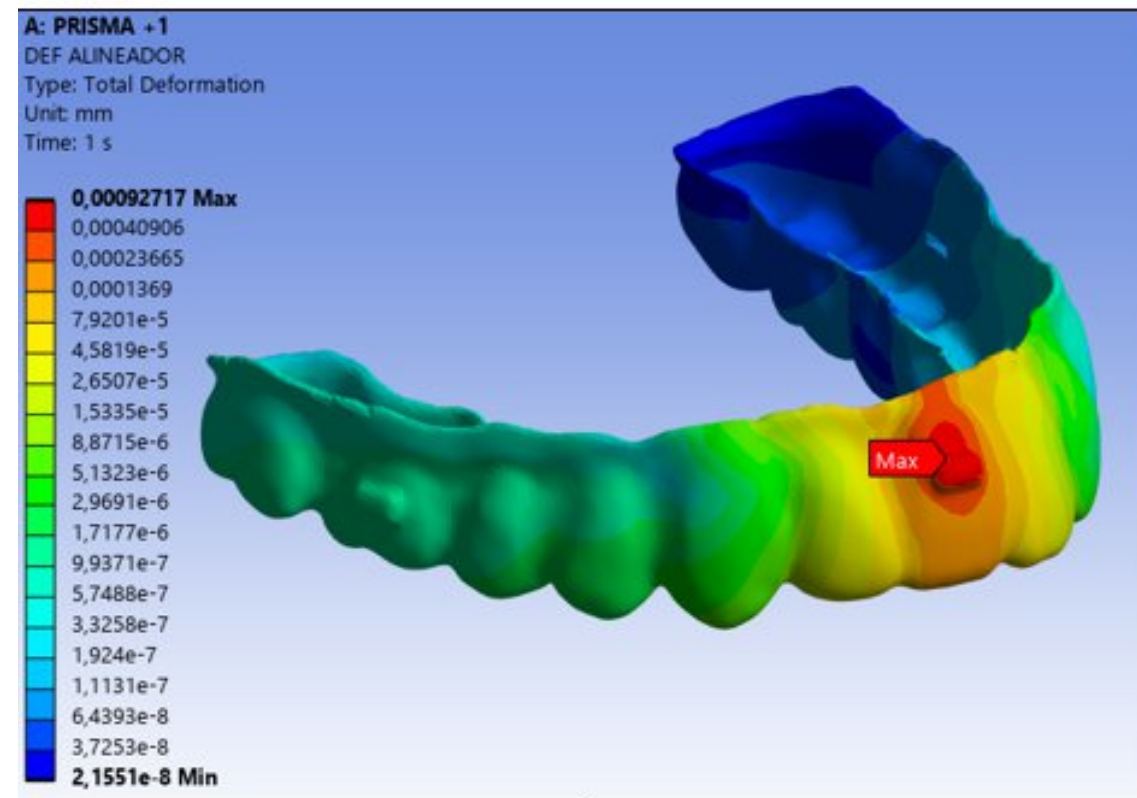


INCISAL

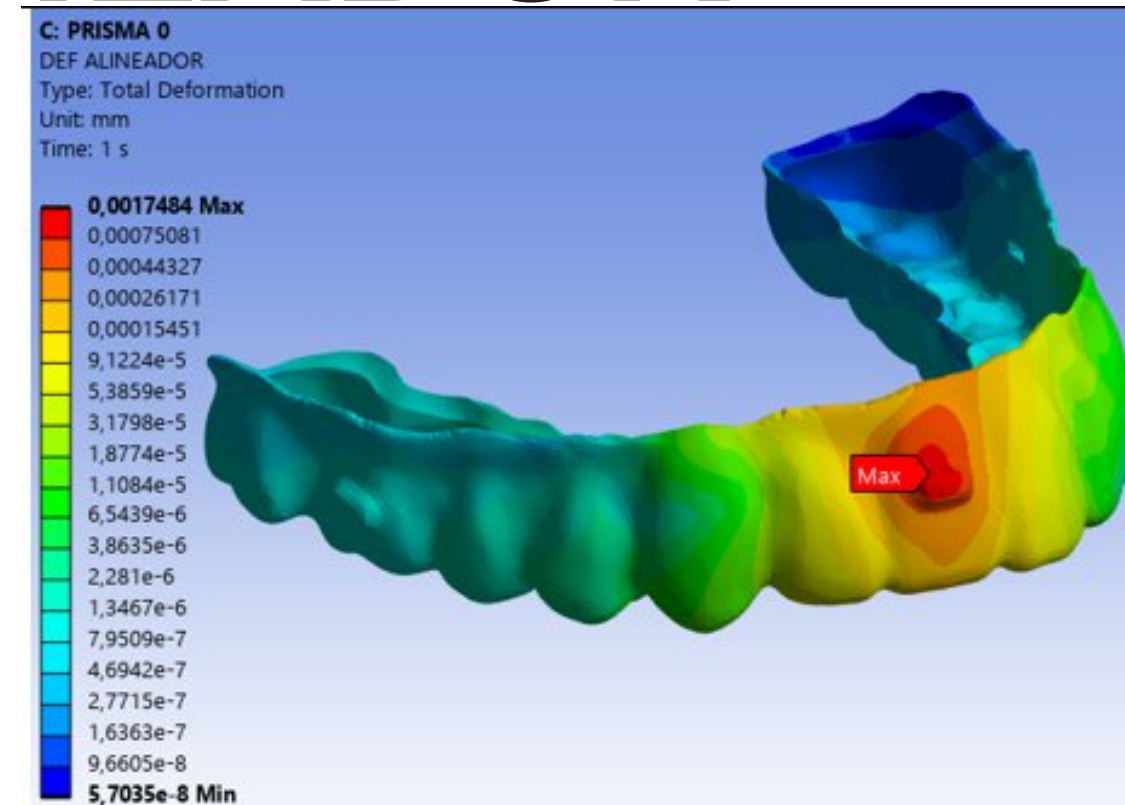


DEFORMACIÓN DEL ALINEADOR CENTRAL

GINGIVAL

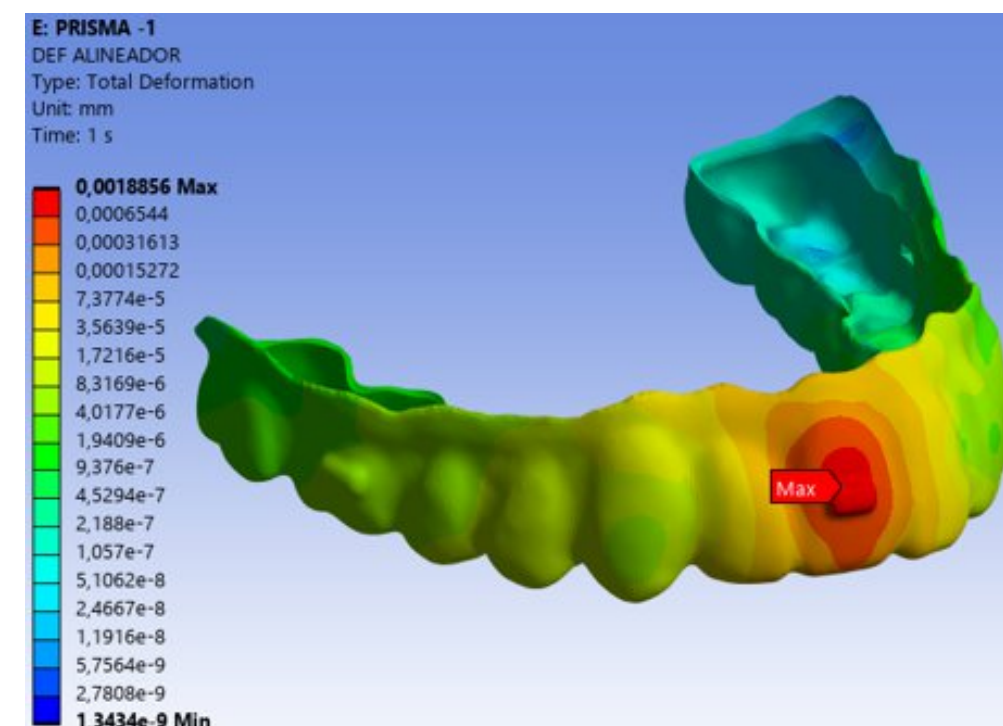


9.3×10^{-4} MM



1.74×10^{-3} MM

INCISAL

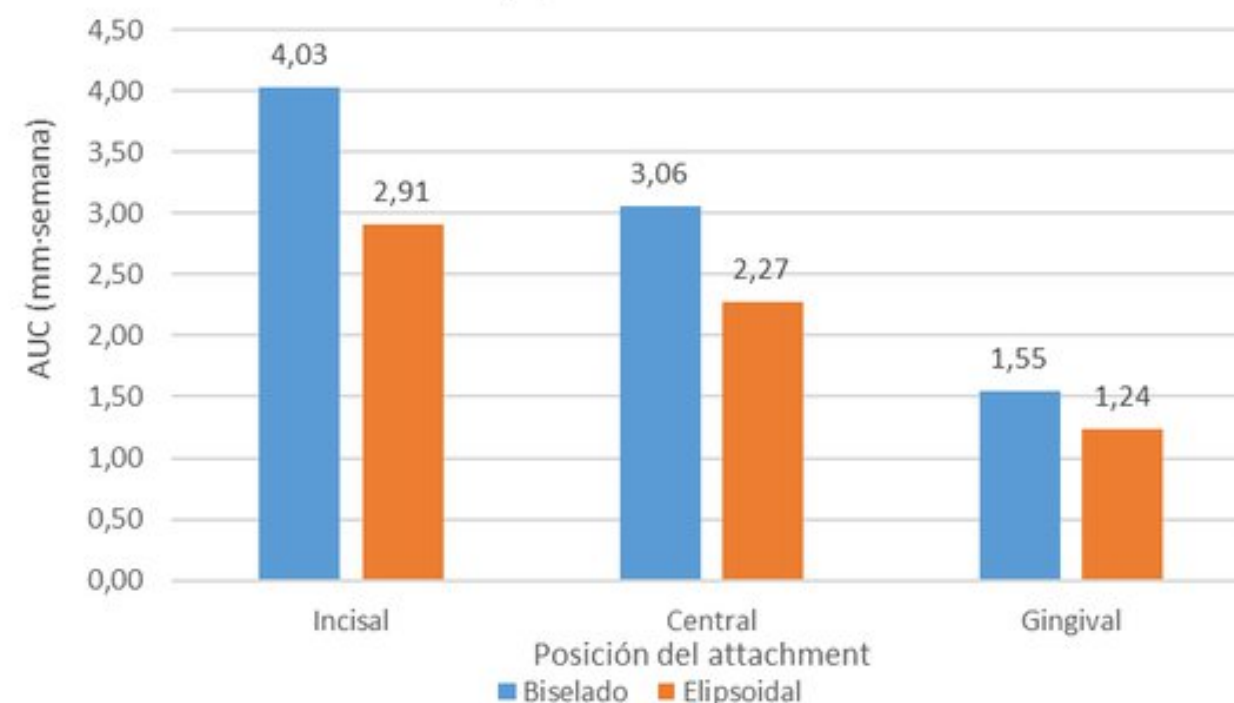


1.84×10^{-3} MM

- Cambia de forma o cuanto se flexiona
- / esfuerzo: modifica físicamente
- maxima deformación en interfase
- punto de transferencia de F en el sistema
- deformación: activación

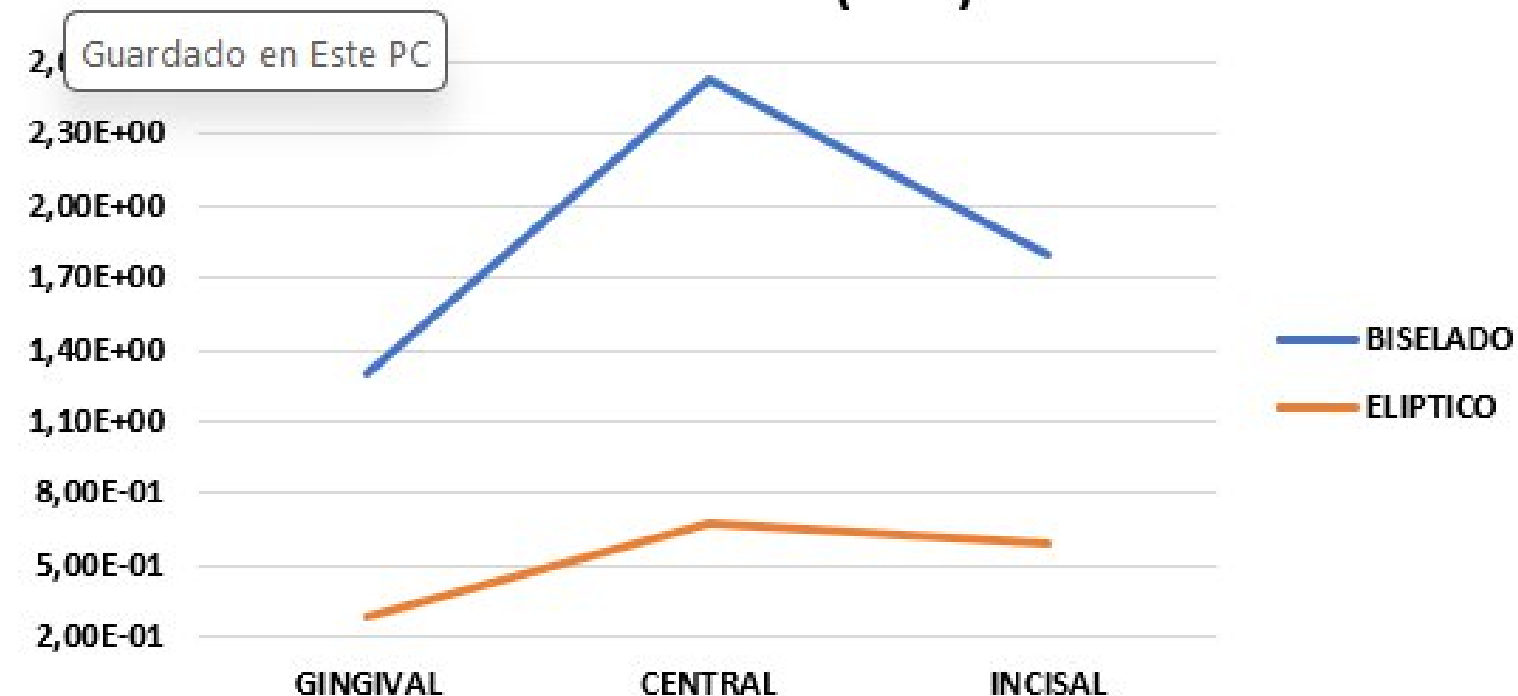
Ubaque A, Albarracin E, Quimbayo A

Área bajo la curva (AUC) del desplazamiento según
diseño y posición del attachment

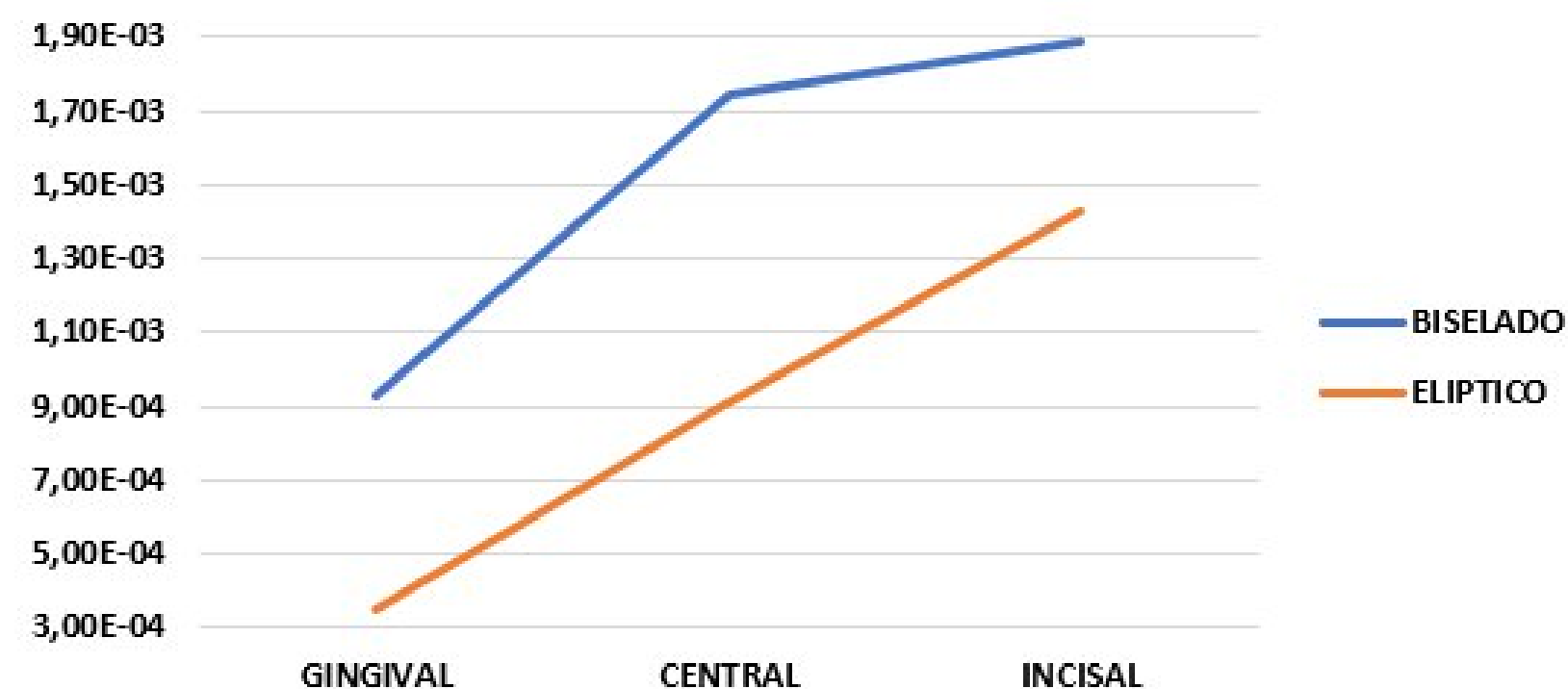


- desplazamiento acumulado
- mayor expresión de movimiento
- esfuerzo: intensidad de tensiones
- modifica estructura al recibir carga
- incisal: expresión de movimiento extrusivo
- biselado: mayor activación biomecánica

ESFUERZO (MPa)



DEFORMACIÓN (mm)



DISCUSIÓN

Table 1 - Mean and standard deviation of the forces (N) developed in the three axes (X, Y and Z), the resultant force from the 3 axes and from X and Y axes, and the angle of the resultant inclination, using orthodontic aligners associated to three attachments designs.

	Force (N)			Resultant force from the 3 axes	Resultant force from X and Y axes	Angle of the resultant inclination in Z axis (°)
	X axis	Y axis	Z axis			
Attachment 1	0.47 ± 0.06 ^a	0.25 ± 0.02 ^b	2.53 ± 0.02 ^a	2.59 ± 0.01 ^a	0.53 ± 0.04 ^b	11.9 ± 1.1 ^c
Attachment 2	-0.17 ± 0.02 ^c	-1.27 ± 0.05 ^a	2.17 ± 0.01 ^b	2.52 ± 0.03 ^b	1.28 ± 0.05 ^a	30.6 ± 1.1 ^a
Attachment 3	0.35 ± 0.01 ^b	0.26 ± 0.03 ^b	1.12 ± 0.01 ^c	1.20 ± 0.01 ^c	0.44 ± 0.01 ^b	21.3 ± 0.2 ^b

Similar superscript letters in one column indicate the absence of statistical differences ($\alpha = 0.05$).

Costa et al. reportaron que diferentes geometrías de attachment producen diferentes magnitudes y direcciones de fuerza durante la extrusión del incisivo central superior, con valores entre 1,20 y 2,59 N. Estos hallazgos coinciden con nuestros resultados, ya que las variaciones en la geometría y posición del attachment modificaron la respuesta biomecánica del sistema diente–ligamento periodontal–hueso alveolar. En nuestro estudio, el attachment biselado incisal presentó la mayor fuerza inducida (2,695 N), acompañada de mayores valores de esfuerzo de von Mises, deformación tisular y desplazamiento acumulado, sugiriendo una **transmisión de fuerzas más eficiente para la extrusión.**

“Extrusion is the least accurate tooth movement achieved with CAT (30% of predictability).”

Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod.* 2015;85(5):881-889. doi:10.2319/061614-436.1

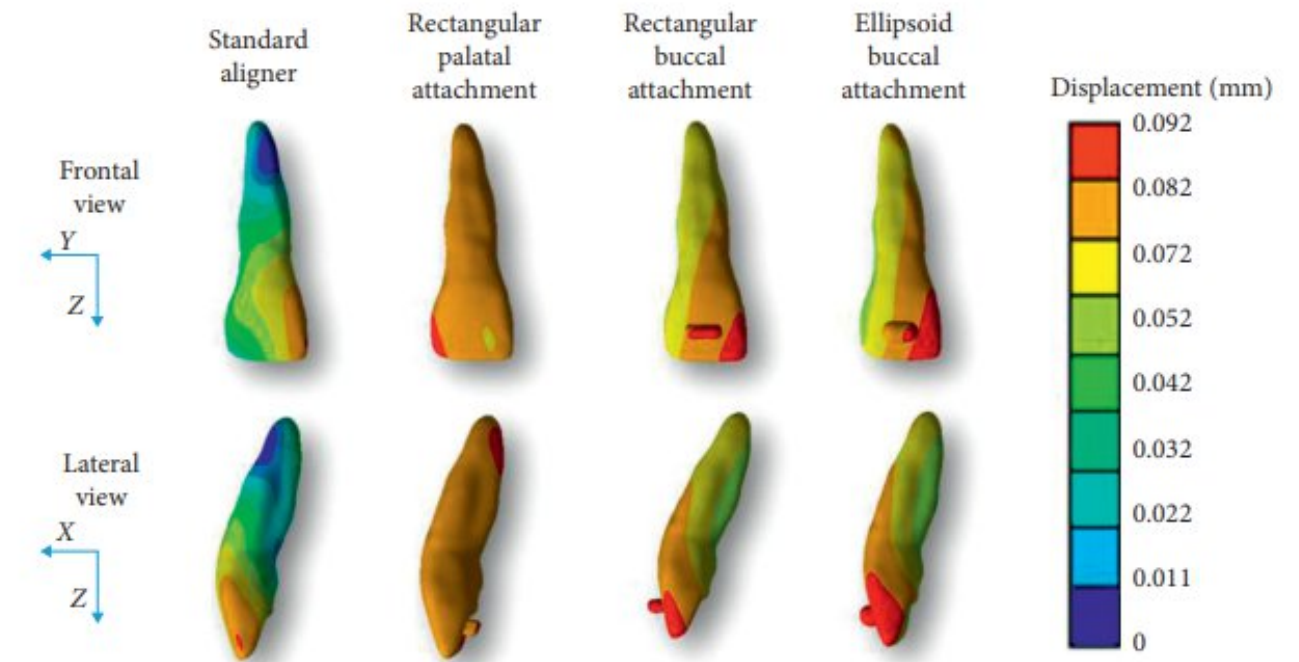


FIGURE 4: Colormap of tooth displacement for each scenario.

Savignano, R., Valentino, R., Razionale, A. V., Michelotti, A., Barone, S., & D'Antò, V. (2019). Biomechanical effects of different auxiliary-aligner designs for the extrusion of an upper central incisor: A finite element analysis. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019, 9687127. <https://doi.org/10.1155/2019/9687127>

Rossini et al. reportaron que la extrusión presenta una predictibilidad aproximada del 30% con alineadores. Nuestros resultados sugieren que esta limitación puede estar relacionada con diferencias en la transmisión de fuerzas según la geometría y posición del attachment, observándose una mayor eficiencia biomecánica en las configuraciones incisales y biseladas.

Savignano et al. demostraron que la posición y el diseño del attachment modifican la distribución de desplazamientos durante la extrusión. De manera consistente, nuestros resultados mostraron diferencias biomecánicas según la posición y geometría del attachment, observándose una mayor eficiencia extrusiva en las configuraciones incisales y biseladas.

Effect of three different attachment designs in the extrusive forces generated by thermoplastic aligners in the maxillary central incisor

Rafael Costa¹, Fernanda Calabró Calheiros², Rafael Yagüe Ballester³, Flávia Gonçalves¹

DOI: <https://doi.org/10.1590/2177-6709.25.3.046-053.oar>

"Different attachment geometries provide different loadings on the maxillary central incisor, regarding the resultant force and forces on the Z and X axes."

"Las diferentes geometrías de los attachments proporcionan diferentes cargas sobre el incisivo central maxilar, en relación con la fuerza resultante y las fuerzas sobre los ejes Z y X."

Costa et al. (2020) reportaron que diferentes geometrías de attachment generan patrones de carga distintos sobre el incisivo central superior, modificando la magnitud y dirección de las fuerzas aplicadas. De manera concordante, en nuestro estudio el attachment biselado presentó mayores valores de desplazamiento acumulado (AUC), mayor deformación del alineador y mayores esfuerzos biomecánicos en comparación con el attachment elipsoidal, evidenciando una respuesta extrusiva más eficiente.



El análisis corresponde a un modelo de **elementos finitos lineal estático**.



Los materiales fueron considerados homogéneos, isotrópicos y con **comportamiento elástico lineal**.



No se simuló la **remodelación biológica** del ligamento periodontal ni del hueso alveolar.



Las **condiciones clínicas reales** pueden variar debido a factores biológicos individuales.



Los resultados representan la **respuesta mecánica inicial** del sistema y no el movimiento acumulado durante el tratamiento.

CONCLUSIÓN

1

La respuesta observada en el complejo dentoalveolar dependió del tejido analizado, donde los mayores valores de deformación se dieron principalmente en diseño elipsoidal mientras que los mayores esfuerzos se dieron en el ligamento periodontal con diseños biselados.

2

En el sistema alineador–attachment, los attachments biselados generaron mayores valores de deformación y esfuerzo, mientras que los elipsoidales presentaron una distribución más homogénea de las tensiones en la interfase alineador–attachment.

3

El movimiento acumulado estimado fue mayor en la posición incisal que en la central y gingivales, y superior en los attachments biselados respecto a los elipsoidales. Estos hallazgos sugieren que el diseño y la posición del attachment influyen en el comportamiento mecánico del sistema durante la extrusión simulada de incisivos centrales superiores.

RECOMENDACIONES



Realizar estudios clínicos prospectivos que permitan validar los hallazgos biomecánicos obtenidos mediante análisis por elementos finitos.



Evaluar el comportamiento de diferentes materiales de alineadores y su influencia sobre la transmisión de fuerzas extrusivas.



Incorporar modelos FEM con propiedades viscoelásticas del ligamento periodontal y simulaciones dinámicas más cercanas al entorno clínico real.

GRACIAS