



EVALUACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DE EL ESFUERZO Y MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN HUESO MAXILAR PRODUCIDO POR UN MINI-IMPLANTE AUTO PERFORANTE SIN NICHOS PREVIOS

EVALUATION BY FINITE ELEMENTS OF EFFORT AND MODULE JAW BONE DEFORMATION CAUSED BY A MINI-IMPLANT SELF-DRILLING WITHOUT PREVIOUS NICHE

Addonizio V, Robayo D, Villamarín L¹, Jara L², Malaver P³, Cuesta B⁴

1. Estudiantes V semestre Posgrado de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar UNICOC Bogotá
2. Od. Especialista en Ortodoncia. Ms. En educación énfasis en investigación
3. Od. Ms. Biología énfasis Genética Humana
4. Ingeniero Mecánico

Autor responsable de correspondencia: Liliana Jara
Correo electrónico: ljara@unicoc.edu.co

RESUMEN

OBJETIVO: Establecer la distribución de esfuerzos y módulos de deformación producidos en hueso maxilar tras la inserción de un mini-implante auto-perforante sin nicho previo, mediante la simulación matemática por elementos finitos. **METODOLOGÍA:** Estudio experimental por simulación con elementos finitos de la zona de la tuberosidad del hueso maxilar y de un mini-implante auto-perforante con diámetro de 1.8 mm sin nicho previo por medio del software Ansys 14.0. Se realizaron simulaciones de inserción del mini-implante a diferentes profundidades (1 a 6 mm) y se obtuvieron valores de esfuerzo y deformación elástica tanto del hueso como del mini-implante. **RESULTADOS:** Se observó una relación inversamente proporcional entre los valores de esfuerzo y deformación elástica y la profundidad de inserción. Los mayores valores se presentaron a 1 mm de profundidad del mini-implante en el hueso, los cuales disminuyeron considerablemente en los 2 mm y presentaron valores estables entre los 3 y 6 mm con tendencia a cero. **CONCLUSIÓN:** La simulación por elementos finitos determinó que las profundidades de inserción del mini-implante auto-perforante en el hueso maxilar sin nicho previo mayores a 3 mm contribuyen a la obtención de estabilidad primaria del mini-implante.

Palabras Clave: Elementos finitos, esfuerzo, deformación, mini-implante auto perforante, Estabilidad primaria, hueso maxilar

ABSTRACT

OBJECTIVE: To establish the effort distribution and deformation module caused in maxillary bone following insertion of a self-drilling mini-implant without previous niche, through finite elements system. **METHODOLOGY:** A descriptive study using finite element system was conducted to model the maxillary tuberosity and a self-drilling mini-implant with 1,8 mm diameter without previous niche using Ansys 14.0 software. Simulations of mini-implant insertion into the maxillary bone at different depths were performed (1 to 6 mm), obtaining effort and elastic deformation values. **RESULTS:** It was evident an inverse relationship between effort and deformation values and the insertion depth of the mini-implant. Higher values were found at 1 mm depth, which decreased sharply at 2 mm and became constant between 3 and 6 mm, tending to zero. **CONCLUSION:** Finite elements simulation established that insertion depths of the self-drilling mini-implant into the maxillary bone without previous niche higher than 3 mm contributes to the primary stability of the mini-implant.

Key words: Finite elements, stress, strain, self-drilling mini-implants, jawbone.

1 Odontólogas, Estudiantes postgrado de ortodoncia y ortopedia maxilar, Institución Universitaria Colegios de Colombia, UNICOC. Bogotá.

2 Odontóloga, Especialista en ortodoncia – Directora postgrado de ortodoncia y ortopedia maxilar, Institución Universitaria Colegios de Colombia, UNICOC. Bogotá.

3. Odontóloga, Maestra en Biología, énfasis Genética humana.

4 Ingeniero Mecánico.

Introducción

El anclaje estable durante la aplicación de fuerzas en ortodoncia, es uno de los factores que garantiza el éxito del tratamiento. En los últimos años, se han implementado distintos mecanismos para lograr un anclaje adecuado. Uno de los dispositivos de mayor uso son los mini-implantes, los cuales han demostrado buenas características de adaptación, biocompatibilidad y fibro-óseointegración (1). Con el fin de aprovechar las ventajas de los mini-implantes, es necesario lograr una adecuada estabilidad primaria, que consiste en la ausencia de movilidad del mini-implante en el hueso inmediatamente después de su inserción, sin embargo, existen numerosos factores que pueden afectar dicha característica (2,3).

Hoy en día, existen numerosas investigaciones encaminadas a evaluar y analizar las variables que favorecen una adecuada estabilidad primaria, y por lo tanto, el éxito del mini-implante. Se ha reportado que el diseño del implante, la calidad y cantidad del hueso, la presencia de mucosa queratinizada, la realización de nicho previo, el ángulo de inserción y la presencia de inflamación en el tejido peri-implante, entre otras, son factores determinantes a la hora de obtener la estabilidad del mini-implante (4-7).

Otro factor relacionado con la estabilidad primaria consiste en la biomecánica de las estructuras óseas y del mini-implante, lo cual constituye un elemento esencial para la retención del mini-implante en el hueso (8,9). La biomecánica de los maxilares se ha evaluado por medio de simulaciones numéricas desde la década de los 90's y ha permitido predecir situaciones reales de sistemas biológicos complejos (10).

En la institución Universitaria Colegios de Colombia UNICOC, en los últimos años se ha utilizado el método matemático de elementos finitos en el estudio de los mini-implantes. Los elementos finitos es un método de simulación numérica por ordenador que se utiliza para predecir el comportamiento biomecánico de estructuras realizando una aproximación numérica de un problema mecánico. A partir de las figuras obtenidas por las fotografías y las dimensiones dadas se elaboran curvas de nivel primario que delinear los contornos de los planos principales mediante el software AutoDesk inventor 2012. Posterior a esto se realiza la reconstrucción y edición de las imágenes en 3d, se realiza un diseño previo de una fina capa de hueso cortical y posteriormente es exportado al software de simulación Ansys en el que se realizó la edición del modelo para completar el relleno del hueso trabecular y de igual forma se realizó el modelo del mini-implante siguiendo las características exactas de la casa comercial brasilera conexao 1.8 x 6 x 1. Posteriormente se lleva a cabo el mallado que es un sistema de puntos (nodos) y propiedades estructurales (módulo elástico, el coeficiente de Poisson, y fuerza), que definen cómo la estructura

va a reaccionar a ciertas condiciones de carga. Este paso incluye la visualización de resultados, comprobaciones, conclusiones y pensar en que medidas deben adoptarse para mejorar el diseño.

Métodos

Estudio experimental por simulación con elementos finitos donde se tomocomo criterios de inclusión: Mini-implante auto-perforante sin nicho previo de la casa comercial Brasileira Conexao (Autoperforante 1.8 x 6 x 1). Fabricado en material de Titanio Grado V. (Figura 1).

Cortical ósea vestibular de hueso tipo D4 ubicado en zona de tuberosidad del maxilar superior.

Las variables a evaluar fueron el esfuerzo y la deformación elástica tanto en el mini-implante auto-perforante, como en la tuberosidad del hueso maxilar. Se realizó el modelamiento por elementos finitos del hueso en la zona de tuberosidad maxilar por medio del software Autodesk Inventor 2012 en el que inicialmente se realizó una fina pared de hueso cortical y posteriormente se exportó al Software de simulación Ansys Workbench V.14.0., en este se realizó la edición del modelo con el fin de completar el modelo con hueso trabecular.

De igual forma se realizó el modelo del mini-implante siguiendo las características exactas de la casa comercial Brasileira Conexao (Autoperforante 1.8 x 6 x 1).

Posterior a la validación de las geometrías de los modelos, se realizó la simulación de inserción del mini-implante auto-perforante sin nicho previo en la tuberosidad del maxilar superior entre 1 y 6 mm de profundidad (Figura 2).

Se utilizó el Software Ansys 14.0 de elementos finitos para obtener resultados gráficos representados por una escala de color que varía en la escala Rainbow desde el menor valor (color azul) hasta el mayor valor (color rojo). Estos colores permitieron obtener los valores de los niveles de esfuerzo expresados en Mega Pascales (MPa) y deformación unitaria (mm/mm) para las diferentes profundidades de inserción evaluadas.

Resultados

Aunque los mini-implantes constituyen una alternativa ideal para lograr anclaje absoluto en ortodoncia, se hace imprescindible lograr la estabilidad primaria para obtener éxito en el tratamiento. Uno de los factores que afectan la estabilidad primaria es el comportamiento biomecánico de las estructuras óseas (8,9), por lo que en el presente estudio se realizó una

simulación matemática del esfuerzo y grado de deformación del mini-implante auto-perforante y del hueso maxilar al realizar la inserción sin nicho previo.

Inicialmente se realizó el modelamiento del mini-implante auto-perforante insertado en la tuberosidad del hueso maxilar mediante el software Ansys 14.0 (Figura 2). A partir de este modelo se realizó la simulación de la inserción del mini-implante en el hueso a diferentes profundidades (1, 2, 3, 4, 5 y 6 mm) con el fin de obtener datos de esfuerzo (Figura 3) y deformación elástica (Figura 5) tanto en el mini-implante como en el hueso maxilar.

Esfuerzo:

Al realizar la simulación de inserción del mini-implante a 1 mm de profundidad (Figura 3A y 3B), se encontraron diferencias entre el mini-implante y el hueso, obteniendo valores de 16000 y 10000 MPa, respectivamente. Cuando la profundidad aumentaba a 2 mm, los valores de esfuerzo en los dos elementos disminuyeron drásticamente, aunque el mini-implante seguía presentando valores más altos con respecto al hueso (4000 MPa comparado a 2000 MPa), (Figura 4).

Entre los 3 y 6 mm de profundidad de inserción se encontraron los valores más bajos de esfuerzo en el mini-implante y en el hueso maxilar (Figura 3), con tendencia a cero para los dos elementos evaluados. Cabe anotar que el esfuerzo del hueso aumentó levemente entre los 4 y 5 mm de profundidad, pero sus valores volvieron a disminuir a los 6 mm de profundidad (Figura 4).

Deformación elástica:

La deformación elástica presentó un comportamiento similar a lo encontrado en la evaluación del esfuerzo. En el mini-implante, se evidenció el valor más alto de deformación cuando se insertaba 1 mm (0.55 mm/mm). Cuando la profundidad aumentó a 2 mm, se observó una caída abrupta de los valores de deformación elástica (0.05 mm/mm). A profundidades mayores, la deformación elástica se mantuvo constante y con valores bajos con tendencia a cero.

Con respecto al hueso maxilar, los valores de deformación en 1 mm de profundidad de inserción (Figura 5A y 5B) fueron mucho menores comparados con los valores registrados en el mini-implante (0.18 comparado a 0.55 mm/mm). De igual manera, a medida que aumentó la profundidad de inserción, se obtuvieron valores menores de deformación (Figura 5). En el hueso, también se encontró un aumento leve de deformación entre los 4 y 5 mm que disminuyó nuevamente a los 6 mm de profundidad (Figura 6).

Discusión

Los mini-implantes son elementos que han presentado una gran aceptación en la clínica ortodóncica en los últimos años debido a que facilitan el anclaje, esencial en el tratamiento de maloclusiones complejas. El éxito de los mini-implantes depende de diversos factores, por lo que es responsabilidad del clínico conocer todos los aspectos teórico-prácticos a la hora de incluirlos dentro del plan de tratamiento.

El objetivo inicial de la colocación de los mini-implantes consiste en la obtención de estabilidad primaria, la cual se define como la ausencia de movilidad del mini-implante en el lecho del hueso inmediatamente después de su inserción y es uno de los factores más importantes para conseguir una adecuada fibro-oseointegración y asegurar su posterior función.

Se ha reportado que la estabilidad primaria de los mini-implantes en el momento de su colocación está determinada por la calidad y cantidad de hueso en el sitio de colocación, por lo que se ha sugerido que el espacio interradicular entre el primer molar y segundo premolar ofrece el mejor sitio para la colocación de mini-implantes (6,13). Adicionalmente, la técnica de colocación es determinante en el éxito del mini-implante ya que una técnica inadecuada puede alterar estructuras vecinas como raíces dentales, nervios y vasos sanguíneos (8). Finalmente, la realización de nicho previo, su tamaño y profundidad pueden influir significativamente en la estabilidad primaria de mini-implantes, por lo que fue necesario crear la inserción de mini-implantes con el método auto-perforante que excluía la realización de nicho previo (4).

Otro de los factores que se relaciona con la obtención de una adecuada estabilidad primaria del mini-implante es el comportamiento biomecánico tanto del mini-implante como del hueso. Algunos aspectos biomecánicos pueden ser evaluados mediante métodos matemáticos, los cuales han permitido simular sistemas biológicos, por lo que nuestro estudio se centró en la simulación matemática del esfuerzo y grado de deformación del mini-implante y del hueso cuando se insertaba un mini-implante auto-perforante de 1,8 mm de diámetro sin nicho previo en la tuberosidad del hueso maxilar, utilizando un sistema de elementos finitos.

Por medio del software Ansys 14.0, se realizó un modelamiento tanto del hueso como del mini-implante insertado en él sin nicho previo, con el fin de determinar las medidas de esfuerzo y deformación elástica a diferentes profundidades de inserción. En general, se encontró que estas variables presentaron un comportamiento similar, caracterizado por la disminución en sus valores a medida que aumentaba la profundidad de inserción.

Los valores de mayor esfuerzo en el mini-implante auto-perforante y en el hueso se registraron principalmente en el punto de entrada, es decir, cuando el mini-implante se insertaba a 1 mm de profundidad. Este hallazgo puede estar asociado al perfil de la rosca del mini-implante en la zona auto-perforante la cual tiene una sección no redondeada que genera concentraciones puntuales que maximizan el esfuerzo y al fraccionamiento del hueso cortical, lo cual incrementa la tasa de fracaso durante la inserción del mini-implante. Además, la disminución en los valores de esfuerzo a mayores profundidades puede estar relacionado con el aumento de la sección transversal del mini-implante a medida que se inserta.

En cuanto a la deformación elástica en el mini-implante y en el hueso, también se encontraron valores altos cuando el mini-implante se insertaba 1 mm, los cuales disminuyeron y se estabilizaron a medida que aumentaba la profundidad, tendiendo a una deformación mínima estable entre los 3 y 6 mm de profundidad.

Otros estudios han evaluado diferentes aspectos biomecánicos en el hueso esponjoso y cortical. Al respecto, Motoyoshi et al., evaluaron la tensión y esfuerzo en modelos de hueso esponjoso y cortical, obteniendo valores de tensiones de von mises de 6 MPa y superiores a 28MPa, respectivamente, lo que indica que a mayores tensiones von mises, mayor tasa de éxito de los mini-implantes. Con respecto al esfuerzo, en este estudio se encontró que los esfuerzos de von mises fueron bajos y se encontraron entre 135MPa y 143MPa indicando una estabilidad primaria óptima (14). Estos resultados son consistentes con nuestro modelo matemático, ya que a mayores valores de profundidad de inserción, se presentaron valores de esfuerzo y deformación constantes y cercanos a cero, sugiriendo que después de los 3 mm de profundidad de inserción, es posible obtener éxito con la estabilidad primaria del mini-implante.

Conclusiones

Las características físicas del mini – implante y la profundidad de inserción son factores determinantes al producir esfuerzo y deformación en el hueso cortical y esponjoso en zona de tuberosidad maxilar.

La geometría del mini-implante especialmente en la zona autoperforante y del perfil de la rosca genera valores muy altos de esfuerzo asociado al fraccionamiento del hueso cortical, incrementando la tasa de fracaso durante la inserción del mini-implante.

El mayor esfuerzo se concentró en el punto de entrada del mini-implante en el hueso es decir, concentrado en la parte activa del mini- implante independiente de la aplicación de la fuerza.

El aumento de la sección transversal del mini-implante, induce esfuerzos cada vez menores a medida que se inserta.

Los valores aumentan en la geometría angulada de las roscas que actúan como concentradores de esfuerzo.

Los valores de esfuerzo se normalizan con diámetros previos para la inserción de por lo menos un milímetro.

Se observa que para profundidades de inserción mayores de 3 mm, la característica auto-perforante del mini-implante ya no tiene ninguna influencia sobre el hueso cortical, por lo que los altos valores de esfuerzo cortante asociados a dicha característica se reducen notablemente.

Este estudio nos permitió tener una aproximación al grado de esfuerzo y deformación del hueso cuando se inserta un mini-implante auto-perforante sin nicho previo, sin embargo, se necesitan más estudios que permitan seguir evaluando el comportamiento biomecánico en dicha área para así lograr una estabilidad primaria del mini-implante que asegure el éxito del tratamiento ortodóntico.

Referencias

1. Uribe, G. Ortodoncia Teoría y Clínica. 2° ed. Medellín: CIB; 2010. p. 489-541.
2. Sevimay M, Turhan F, Kiliçarslan MA, Eskitascioglu G. Three-dimensional finite element analysis of the effect of different bone quality on stress distribution in an implant-supported crown. J Prosthet Dent. 2005;93(3):227-34.
3. Jara L, Reyes J, González L, Torre E, Malaver P, Pachón M. Comparación de la retención mecánica a la fuerza de tracción en dos diseños de mini-implantes ortodónticos (Trabajo de grado de especialista en ortodoncia y ortopedia). Bogotá: Institución Universitaria Colegios de Colombia. 2012.
4. Evans FG. Mechanical properties and histology of cortical bone from younger and older men. Anat Rec. 1976 ;185(1):1-11.
5. Miyawaki S, Koyama I, Inoue M, Mishima K, Sugahara T, Takano-Yamamoto T. Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2003 124(4):373-78.
6. Chen CH, Chang CS, Hsieh CH, Tseng YC, Shen YS, Huang I, *et al.* The use of microimplants in orthodontic anchorage. J Oral Maxillofac Surg. 2006;64 (8):1209-13.
7. Kim SH, Hwang YS, Ferreira A, Chung, KR. Analysis of temporary skeletal anchorage devices used for en-masse retraction: a preliminary study. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;136(2):268-76.
8. Florvaag B, Kneuertz P, Lazar F, Koebke J, Zöllner JE, Braumann B, *et al.* Biomechanical properties of orthodontic miniscrews. An in-vitro study. J Orofac Orthop. 2010; 71(1):53-67.
9. Inglam S, Chantarapanich N, Suebnukarn S, Vatanapatimakul N, Sucharitpwatskul S, Sitthiseripratip K. Biomechanical evaluation of a novel porous-structure implant: finite element study. Int J Oral Maxillofac Implants. 2012; 28(2): 48-56.
10. Simulación numérica en odontología y ortodoncia. Viaño J, Burgura M, Fernández J, Rodríguez A, Campo M. Facultad de Matemáticas. Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Matemática Aplicada. España 2005: 113-147.
11. Jara L, Giraldo E, Valencia M, Vargas M, Veloza A, Malaver P, López de Mesa C, Barón A. Comparación entre dos tipos de mini-implantes en maxilar inferior por medio de análisis de

elementos finitos (Trabajo de grado de especialista en ortodoncia y ortopedia). Bogotá: Institución Universitaria Colegios de Colombia. 2010

12. Jara L, N Álvarez, E Guarnizo, C Hernández, C Velandia, P Malaver. Evaluación por medio de elementos finitos del esfuerzo y módulo de deformación en zona posterior de hueso mandibular producido por un mini-implante autoperforante sin nicho previo. (Trabajo de grado de especialista en ortodoncia y ortopedia). Bogotá: Institución Universitaria Colegios de Colombia. 2013.

13. Park HS, Jeong SH, Kwon OW. Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006 ;130(1): 18-25.

14. Motoyoshi M, Yoshida T, Ono A, Shimizu N. Effect of cortical bone thickness and implant placement torque on stability of orthodontic mini-implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006; 22(5):779-84.

FIGURAS Y TABLAS

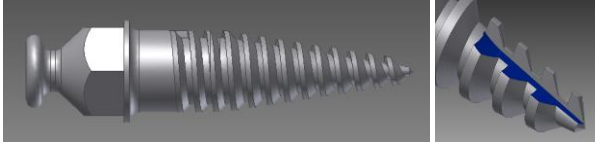


Figura 1 Modelamiento por elementos finitos del Mini-implante auto-perforante con diámetro 1.8 mm por medio del software Ansys 14.0.

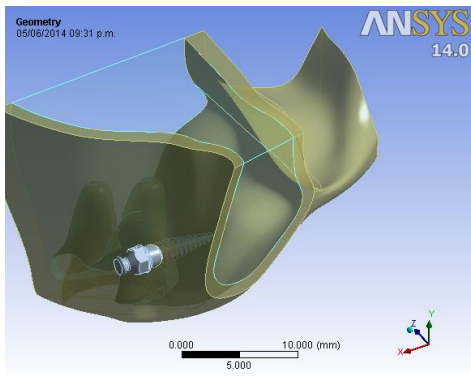


Figura 2 Modelamiento por elementos finitos de la geometría de la zona de la tuberosidad del hueso maxilar con inserción de mini-implante auto-perforante por medio del software Ansys 14.0.

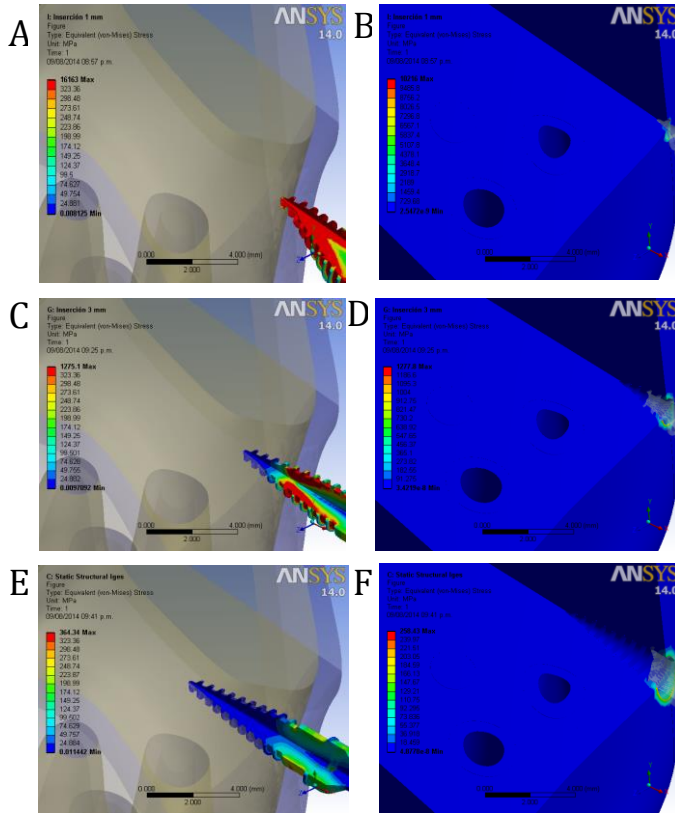
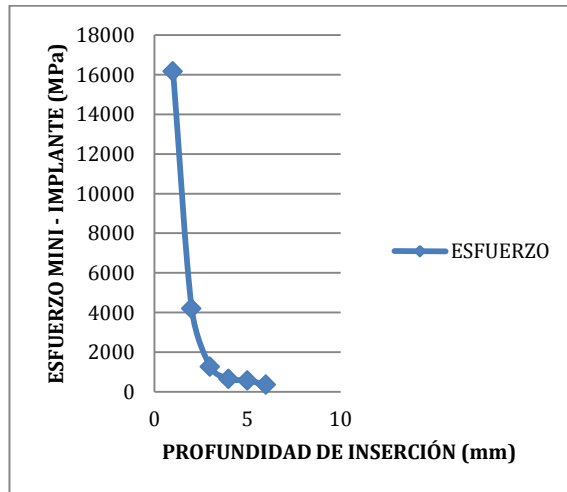


Figura 3. Representación del grado de esfuerzo evaluado sobre el mini-implante (A, C, E) y sobre el hueso (B, D, F) 1 mm (A,B) 3 mm (C,D) y 6 mm (E,F) de profundidad de inserción.

A



B

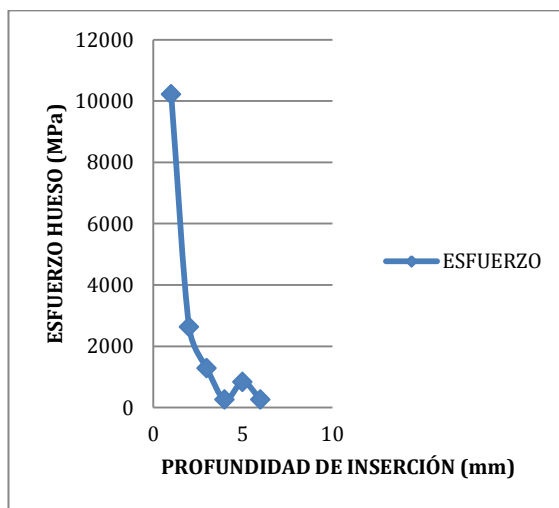


Figura 4. Esfuerzo del mini-implante (A) y del hueso maxilar (B) Vs la profundidad de inserción. Se evidencia la disminución del esfuerzo de los dos elementos a medida que aumentala profundidad de inserción. El esfuerzo está dado en MPa.

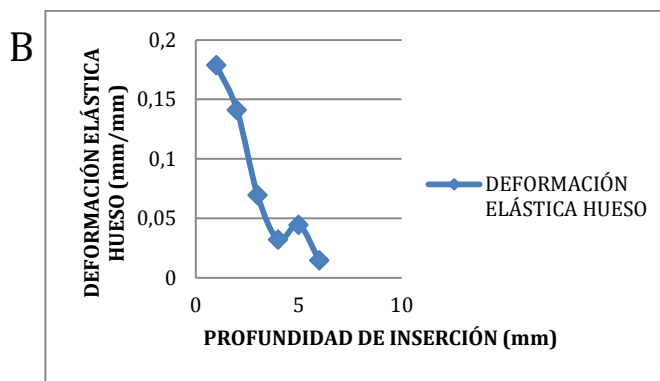
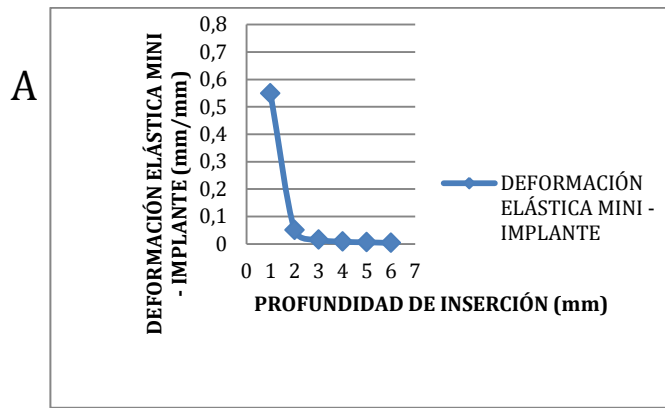


Figura 6. Deformación elástica del mini-implante (A) y del hueso maxilar (B) Vs la profundidad de inserción. Se evidencia la disminución de la deformación en los dos elementos a medida que aumenta la profundidad de inserción. Nótese un leve aumento en el hueso entre los 4 y 5 mm de profundidad el cual disminuye nuevamente a los 6 mm. El esfuerzo está dado en MPa.