

Diseño de un implante dental: propiedades mecánicas y biocompatibilidad

Design of a dental implant: mechanical properties and biocompatibility

Carlos Borja-Soto ^a, Francisco Vapeani-Guerra ^b, Justo Montiel ^c, Cesar Mendoza-Gómora ^d
J.A. García ^e

Abstract:

The document shows the design of a dental implant. Ti Grade 4 alloy was used in the design. Modelling of mechanical properties was carried out with the use of computer programs. The three-dimensional model and stress analysis of the implant were obtained using the SolidWorks program. The mechanical properties of the material were estimated with the Jmat program. The results indicated that the dental implant can resist mechanical stress according to its function. However, there is partial biocompatibility of the metal implant due to the difference between the modulus of elasticity values between the implant ($E = 116.33$ GPa) and bones ($E = 10 - 30$ GPa).

Keywords:

Mechanical properties, metallic alloys, stress simulation, biocompatibility

Resumen:

El documento muestra el diseño de un implante dental. La aleación Ti Grado 4 fue usada en el diseño. La modelación de propiedades mecánicas fue llevada a cabo con el uso de programas informáticos. El modelo tridimensional y análisis de esfuerzos del implante fueron obtenidos mediante el programa SolidWorks. Las propiedades mecánicas del material fueron estimadas con el programa Jmat. Los resultados indicaron que el implante dental puede resistir los esfuerzos mecánicos de acuerdo a la función. Sin embargo, existe biocompatibilidad parcial del implante metálico por la diferencia entre los valores de módulo de elasticidad entre el implante ($E = 116.33$ GPa) y huesos ($E = 10 - 30$ GPa).

Palabras Clave:

Propiedades mecánicas, aleaciones metálicas, simulación de esfuerzos, biocompatibilidad

Introducción

Los postes dentales son implantes que se colocan en la zona del hueso maxilar por debajo de las encías en la boca. Los postes tienen la función de soportar los dientes

artificiales. Entre los materiales que son usados para su obtención se encuentran los materiales metálicos. Las dimensiones de los implantes dentales dependen del tamaño de la pieza dental a fijar.

^a Autor de Correspondencia, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-3385-8348>, Email: carlos_borja@uaeh.edu.mx

^b Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-5975-286X> Email: franciscovapeani@gmail.com

^c Escuela Superior de Ciudad Sahagún, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-6890-6069>, Email: justo_montiel@uaeh.edu.mx

^d Escuela Superior de Ciudad Sahagún, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-1462-0588>, Email: cesar_mendoza@uaeh.edu.mx

^e Escuela Superior de Ciudad Sahagún, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-1072-171X>, Email: ga381304@uaeh.edu.mx

Existen varios elementos químicos biocompatibles que pueden ser usados en aleaciones metálicas para su uso como biomateriales son Ti, B, Mg, Si, P, Ca, Sr, Zr, Nb, Mo, Pd, Sn, Ta, Pt y Au. Los elementos que causan reacciones adversas en la salud son Be, Al, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Ag. (Calin et al, 2013)

Sin embargo, los efectos sobre la salud dependen de la liberación de iones por la reacción química con tejidos y fluidos corporales. (Helsen & Jürgen, 1998)

Entre los materiales metálicos usados para la obtención de implantes dentales Ti y Zr, ya que ambos son biocompatibles.

Metodología

La tabla 1 muestra la composición química de la aleación Ti grado 4. (NeoNickel, 2021)

A partir de la composición química de la aleación fueron estimadas algunas propiedades físicas, tales como son las propiedades mecánicas. El programa informático Jmat fue usado para estimar propiedades mecánicas, tal como son la resistencia mecánica y dureza; estas en función del tamaño de grano. También se obtuvo la curva esfuerzo – deformación cuando la aleación es tratada térmicamente a una temperatura 993 K mediante el programa mencionado anteriormente.

Tabla 1. Composición química de la aleación base Ti grado 4.

Elemento químico	% Peso
C	0.080
N	0.050
O	0.400
H	0.015
Fe	0.500
Ti	98.955

Fuente: NeoNickel (2021)

El diseño tridimensional y el análisis estático por elementos finitos del implante fue llevado a cabo por medio del programa informático SolidWorks versión 2018. En el análisis estático fue considerado el criterio de Von Mises. (SolidWorks, 2018)

Cada uno de los componentes del implante fue simulado mediante un análisis estático con una fuerza aplicada de 850 N.

Resultados

La figura 1 muestra los valores estimados de esfuerzo y dureza, respecto al tamaño de grano de la aleación base Ti Grado 4 con el uso del programa Jmat. Curvas: Azul, resistencia a la tensión, negro, dureza y roja, propiedades a $\epsilon = 0.2\%$. En la figura 1 se observa que la resistencia a la tensión y dureza es función del tamaño de grano (1 - 20

μm) resulta entre 33.4 - 1144 MPa y 31.7 – 39.6 HRC, respectivamente. La resistencia mecánica del material es favorecida con tamaños de grano pequeños.

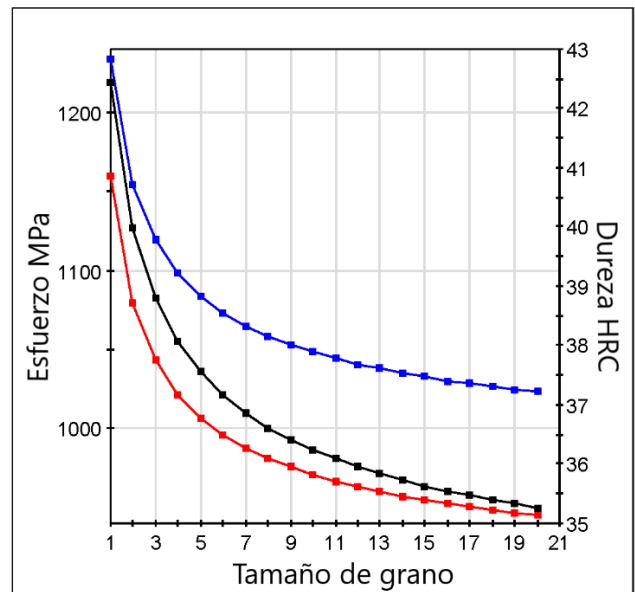


Figura 1. Propiedades mecánicas de la aleación Ti grado 4. Esfuerzo y dureza vs tamaño de grano.

Fuente: Elaboración propia

Se estima que la aleación se encuentra constituida por las fases cristalinas Ti alfa (94.51% estructura hexagonal compacta) y Ti beta (5.49% cúbica centrada en el cuerpo) en caso de llevar a cabo el tratamiento térmico a una temperatura de 993 K. Los valores estimados de densidad y módulo de Young (módulo de elasticidad) para la aleación estudiada son: $\delta = 4.58 \text{ gcm}^{-3}$ y $E = 116.33 \text{ GPa}$, respectivamente.

La aleación base Ti Grado 4 es menos densa en comparación al elemento metálico biocompatible Zr que presenta una densidad de 6.49 gcm^{-3} .

La figura 2 muestra la estimación de la curva esfuerzo – deformación. A partir del gráfico se estimaron los valores de esfuerzos verdaderos de 1160 y 1229 MPa para deformaciones verdaderas de 0.02 y 0.1, respectivamente. También es posible observar que el valor del límite elástico se estima en un valor de 1110 MPa y el módulo de elasticidad, 116.33 GPa.

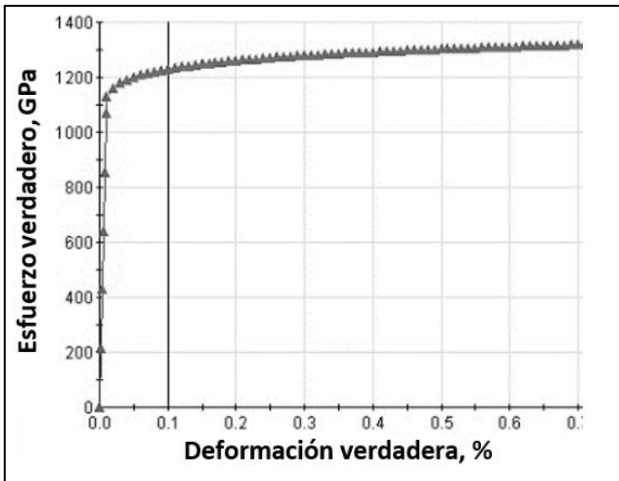


Figura 2. Esfuerzo y deformación verdaderos de la aleación base Ti.

Fuente: Elaboración propia

La figura 3 muestra el modelo isométrico del implante dental que fue diseñado. El implante dental está formado por tres piezas: soporte de fijación al hueso (a), tornillo (b) y soporte de fijación para tornillo metálico (c). La figura 4 muestra las piezas del implante ensambladas.

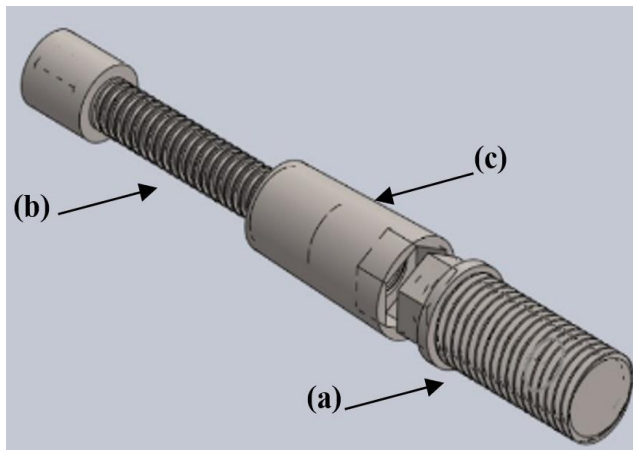


Figura 3. Componentes del implante dental. Modelo isométrico.

Fuente: Elaboración propia

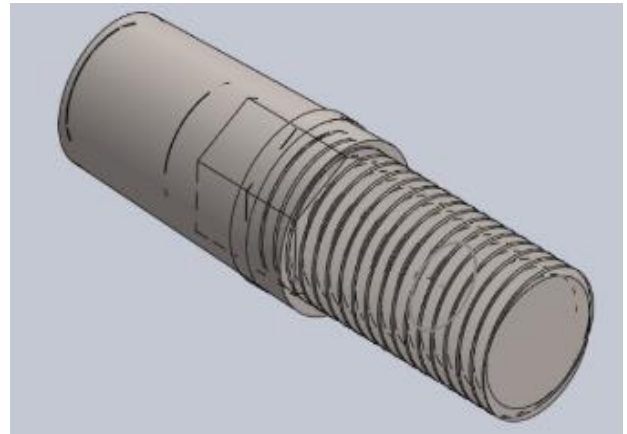


Figura 4. Implante dental. Componentes ensamblados. Fuente: Elaboración propia

Las figuras 5 – 7 muestran las dimensiones de las piezas que conforman el implante dental propuesto en este trabajo con la finalidad de llevar a cabo el análisis mecánico.

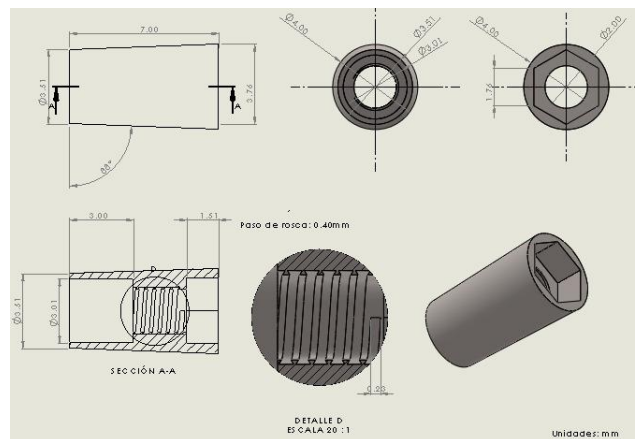


Figura 5. Dimensiones del soporte de fijación al hueso. Fuente: Elaboración propia

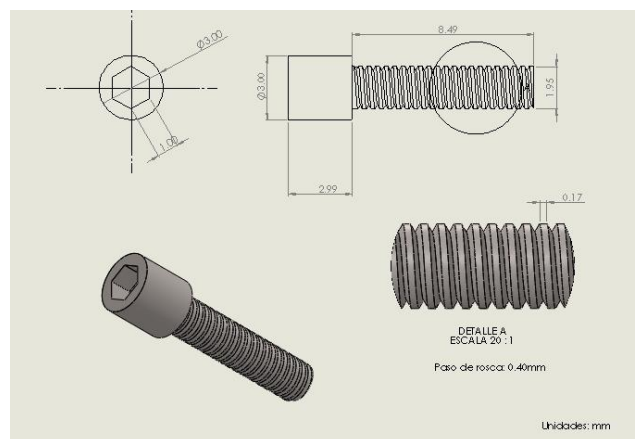


Figura 6. Dimensiones del soporte de tornillo de fijación. Fuente: Elaboración propia

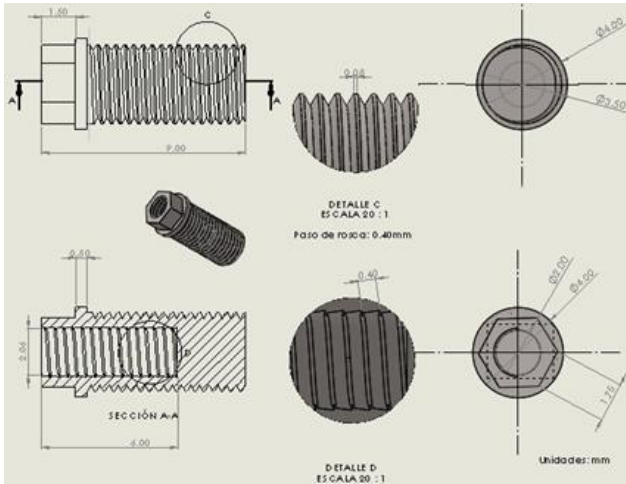


Figura 7. Dimensiones del soporte del tornillo fijación.
Fuente: Elaboración propia

Las figuras 8 – 10 muestran los resultados del análisis estático Von Mises que fue llevado a cabo a las piezas del implante en forma individual. La figura 11 muestra los resultados del análisis estático Von Mises aplicado al ensamble de piezas que forman el implante.

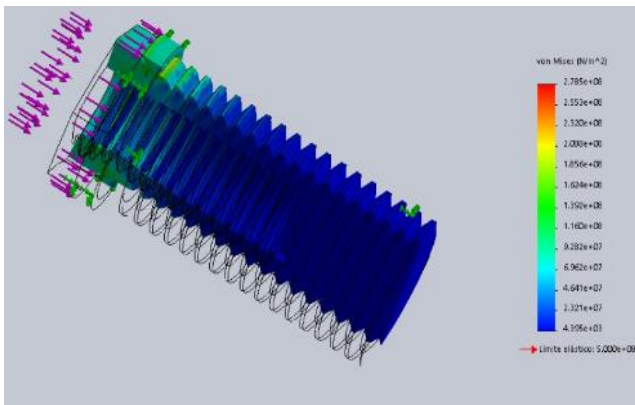


Figura 8. Soporte de fijación al hueso.
Fuente: Elaboración propia

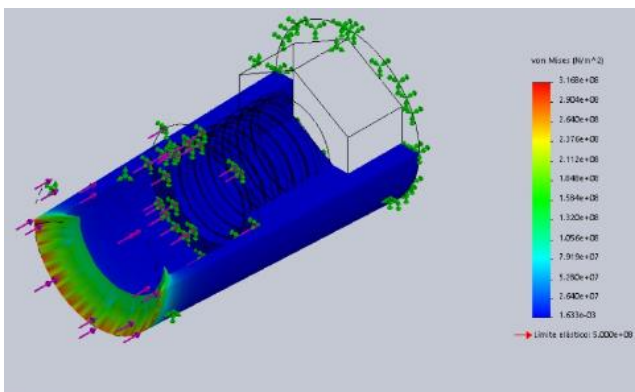


Figura 9. Soporte de fijación de tornillo metálico.
Fuente: Elaboración propia

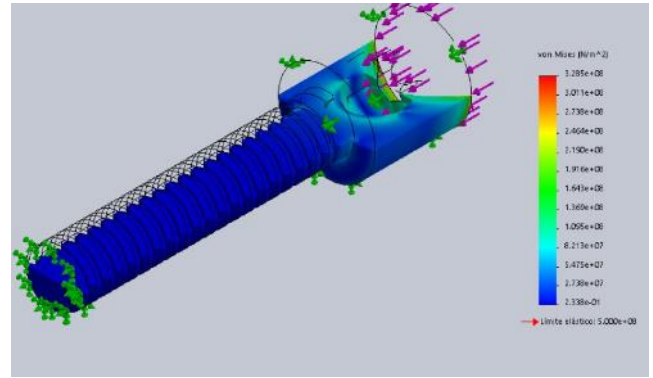


Figura 10. Tornillo del implante dental.
Fuente: Elaboración propia

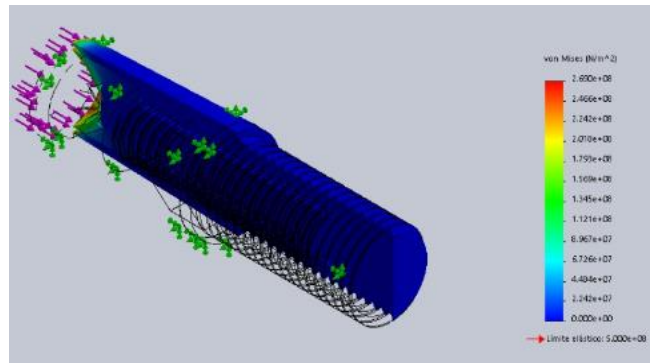


Figura 11. Ensamble de las piezas del implante dental.
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados de las simulaciones, el valor de esfuerzo no supera 268 MPa en todas las piezas en forma individual y cuando se encuentran ensambladas al aplicar una carga de 850 N. El valor de esfuerzo aplicado a la aleación Ti Grado 4, $\sigma = 268$ MPa se encuentra en la región elástica y la cantidad de deformación es próxima a cero, de acuerdo a la figura 2.

El implante puede resistir mecánicamente a un valor 850 N. Sin embargo, la aleación podría presentar valores de módulo de elasticidad cercanos a $E = 116.33$ GPa. Dicho valor se encuentra muy por encima del valor del módulo de elasticidad de los huesos cuyo rango se encuentra en $E = 10 - 30$ GPa (Helsen & Jürgen, 1998).

El implante diseñado es parcialmente biocompatible en términos mecánicos. En este caso, la falta de coincidencia del módulo de elasticidad entre el implante y el hueso puede generar el aflojamiento del implante. Idealmente los implantes o prótesis deben tener propiedades similares al hueso o la parte a reemplazar.

Conclusiones

Fue posible diseñar un implante dental y determinar sus propiedades mecánicas teóricas con el uso de programas informáticos. El implante dental que fue diseñado tiene el potencial de ser usado como biomaterial debido a que el material propuesto es está constituido por Ti 98.95 % en peso, dado el Ti es un material biocompatible. La biocompatibilidad del implante de acuerdo a los valores estimados de propiedades mecánicas es parcial, debido a la diferencia de más 400% del valor del módulo de elasticidad del material del implante respecto al del hueso.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por el apoyo recibido para la realización del presente trabajo. Finalmente, gracias al Proyecto PRODEP 2019-0064 por los fondos destinados para la adquisición de un equipo de cómputo que fue usado en la elaboración del presente trabajo.

Referencias

- Calin M, Gebert A, Cosmina, Ghinea P, Gostina Somayeh A, Christine M & Jürgen E. (2013). Designing biocompatible Ti-based metallic glasses for implant applications. *Materials Science and Engineering: C*, (33) 875-883.
- Helsen J. & Jürgen H. (1998). *Metals as Biomaterials*. Wiley, USA: 1998: 1-45.
- NeoNickel (2021) <https://www.neonickel.com/generate-alloy-pdf/?id=12622>
- SolidWorks (2018) https://help.solidworks.com/2018/english/SolidWorks/cworks/r_Maximum_von_Mises_Stress_Criterion.htm