

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE UHMWPE PARA PROTESIS DE TOBILLO

Banda Arredondo Luis Fernando (1), Vidal Lesso Agustín (2)

¹ [[Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] [fer_guns16@hotmail.com]

² [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] [agustin.vidal@ugtomx]

Resumen

El tobillo es una de las articulaciones más importantes del sistema y más estables. Dicha articulación es una de las que más carga soporta el cuerpo humano. Una prótesis de tobillo alivia los dolores crónicos y restablece en un porcentaje muy alto la movilidad necesaria para obtener un paso eficiente y es por esta razón que se ha vuelto muy público hoy en día. Este documento propone el desarrollo y diseño de un componente de una prótesis de tobillo para así de esta manera reemplazar el cartílago de dicha articulación. El material que se usó fue el polietileno de alta densidad molecular por sus propiedades ya que el cuerpo humano acepta dicho material sin problemas. Para el análisis de la estructura del nuevo cartílago se utilizó el software ANSYS 15 un programa especializado para observar el comportamiento de la estructura propuesta de sus propiedades mecánicas efectivas. Los resultados mostraron una primera aproximación de diseño de estructuras para insertos de prótesis que permiten deformación para amortiguar la transferencia de carga, sin embargo, el factor de seguridad de algunas estructuras no fue mayor a 1, mientras que en otras propuestas fue mayor a 1 pero la deformación era muy baja, por lo anterior se propone optimizar los diseños propuestos.

Abstract

The ankle is one of the most important and most stable joints in the system. This articulation is also one of the most charged in the human body. An ankle prosthesis alleviates chronic pain and reestablishes in a very high percentage the mobility necessary to obtain an efficient step and it is for this reason that it has become very popular nowadays. This document proposes the development and design of a component of an ankle prosthesis to thus replace the cartilage of said joint. The material that uses high molecular density polyethylene for its properties already accepts human material without problems. For the analysis of the structure of the new car, ANSYS 15 software is used, a specialized program to observe the behavior of the proposed structure of its effective mechanical properties. Proposed structure of its effective mechanical properties. The results showed a first approximation of the design of structures for prosthesis inserts that allow deformation to dampen the load transfer. However, the minimum safety factor of some proposed structures was not greater than 1, while in other proposals it was greater than the unit but the deformation was very low because of the above it is proposed to optimize the proposed designs.

Palabras Clave

Prótesis, articulaciones

INTRODUCCIÓN

El tobillo, es una articulación de gran importancia en el cuerpo humano que no admite comparación con otras articulaciones del cuerpo humano. Nos encontramos con una articulación de gran congruencia, pero con una capa de cartílago muy fina con un espesor de 1.6mm de parte de la tibia y 1.45 mm de parte del astrágalo mientras que el cartílago de la rodilla tiene un grosor de alrededor de 6 a 8 mm. Esta articulación soporta más carga que otra en el cuerpo humano, 5-7 veces en la el peso corporal en la fase final del ciclo de marcha comparado con 3-4 en la rodilla y 2-3 en la cadera [1][2].

En este presente trabajo se propusieron tres geometrías para generar estructuras en forma de sándwich, para las cuales fungirán como cartílago, dichas estructuras serán analizadas en el rango lineal elástico con respecto a un material llamado polietileno de alta densidad molecular, la cuales no deben sobrepasar una deformación de 2 mm y por lo tanto no deberá sobrepasar un esfuerzo de 25 MPa ya que la estructura fallaría.

Conociendo las propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad molecular es necesario tratar de proponer buenas geometrías y a través de ANSYS 15 conocer el modelo más óptimo, así como tratar de optimizar las geometrías de las estructuras para obtener el modelo más eficiente que pueda sustituir el cartílago.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo y diseño de la estructura de la prótesis, es necesario conocer las dimensiones del cuerpo humano, para ser más precisos a la hora de diseñar nuestra estructura para que sea óptima y funcional. Para la obtención de medidas se utilizó el pie derecho de un adulto varón (ver IMAGEN 1)

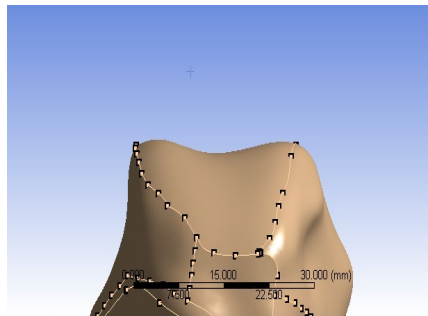


IMAGEN 1. Astrágalo de pie humano. Medida ante posterior

En la IMAGEN 1. se muestra el modelo del hueso astrágalo y se obtiene una medida aproximada de 25 mm de ancho.

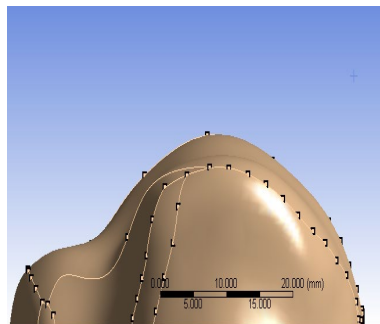


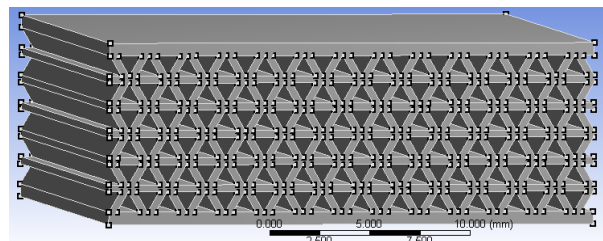
IMAGEN 2. Astrágalo de pie humano. Medida lateral

En la IMAGEN 2 se muestra el modelo del hueso astrágalo y se obtiene del modelo una longitud de aproximadamente 25 mm de largo.

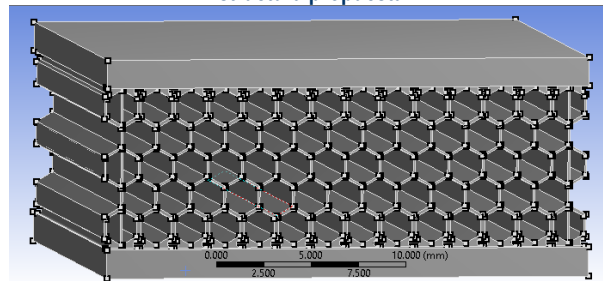
Cabe mencionar que las medidas son tomadas de acuerdo a como el cirujano hace el corte al momento de la cirugía.

Ahora que se determinaron las medidas se propondrán tres geometrías para de esta forma generar tres estructuras, una estructura con cada geometría. Las estructuras se generaron en un programa de CAD, cabe destacar que las estructuras propuestas tienen las mismas dimensiones periféricas, sin embargo no será posible comparar las propiedades mecánicas efectivas directamente en cada estructura ya que no cuentan con el mismo volumen específico.

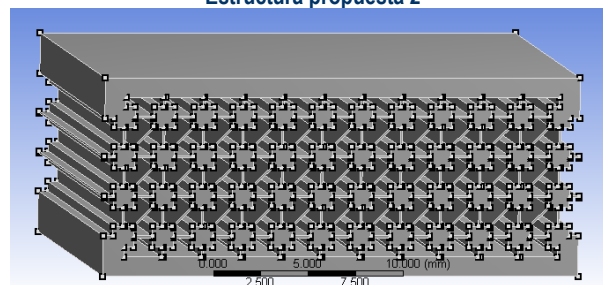
En la IMAGEN 3. se pueden observar las estructuras propuestas finales.



Estructura propuesta 1



Estructura propuesta 2



Estructura propuesta 3

IMAGEN 3. Estructuras propuestas

El material que se utilizó fue el polietileno de alta densidad molecular dicho material es el polímero más simple. La ventaja principal de este material es que es químicamente inerte.

Este material es un polímero que es muy utilizado en articulaciones artificiales debido a sus grandes propiedades de lubricidad, que es suficiente resistente al impacto y a la abrasión.

En la tabla 1 se puede observar las propiedades mecánicas elásticas del polímero.

Tabla 1. Propiedades del polietileno de alto peso molecular.

Propiedades mecánicas	UHMWPE
Densidad(kg/m ³)	950
Módulo de Elasticidad (GPa)	1.1E+09
Resistencia a la Fluencia (MPa)	25
Razón de Poisson	0.42

Para realizar el análisis estructural se implementó el software ANSYS 15 el cual puede simular modelos de estructuras y así obtener esfuerzos y deformaciones mediante el método numérico de elemento finito.

Mallado

Para obtener un buen resultado es necesario tener un buen mallado, ya que es parte primordial del elemento finito. En nuestros modelos se usaron elementos hexaédricos, se mapearon todas las caras, (IMAGEN 4) excepto en la vista frontal y trasera ya que en dichas caras se usó un refinamiento de 1. La razón por la que se usó un refinamiento en estas caras es porque son muy delgadas y si se usará un método de mallado por tamaño el tiempo de recursos de computo sería mayor.

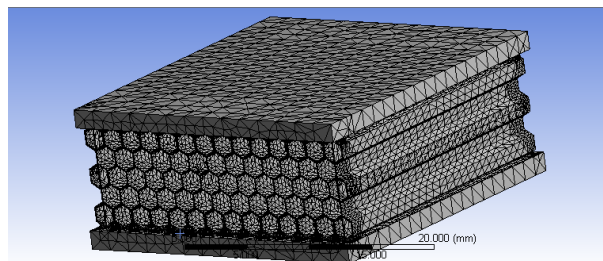


IMAGEN 4. Estructura mallada

Condiciones de frontera

Las estructuras sándwich estarán cargadas con una fuerza de 600 N en la parte superior y tendrá un soporte fijo en la parte inferior de la estructura. (ver IMAGEN 5 y 6)

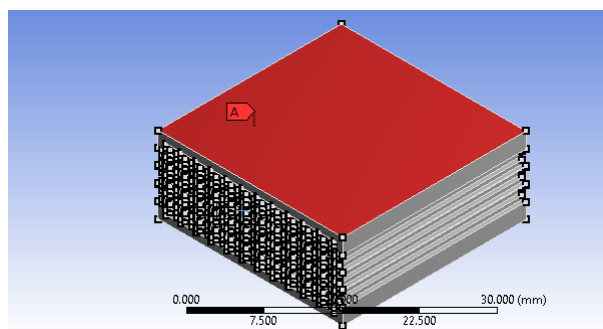


IMAGEN 5. Aplicación de fuerza de 600 N en la cara superior de la estructura.

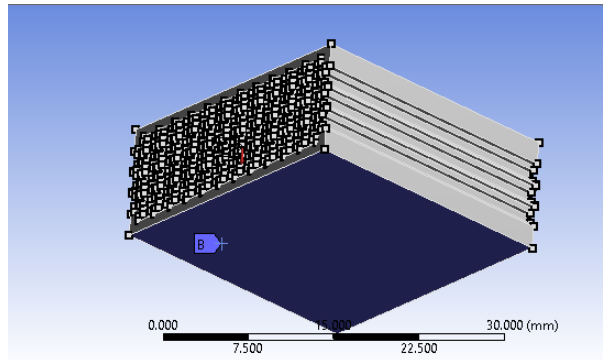


IMAGEN 6. Soporte fijo aplicado en la parte inferior de la estructura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de deformación total, factor de seguridad y esfuerzos de von mises se presentarán a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de modelos propuestos

Deformación total. (mm)	Esfuerzo máximo. (MPa)	Factor de seguridad mínimo.	Imagen 3.
0.207	38.125	0.65	b)
0.00075	24.94	1.022	c)
0.032	5.6	4.45	a)

Los resultados para el factor de seguridad se basan en la Ec. (1)[3].

$$n = s_y / \sigma^t \quad (1)$$

Donde s_y es la resistencia a la fluencia y σ^t el esfuerzo de Von Mises.

El factor de seguridad en la IMAGEN 3 se mantuvo en el rango de .5 a 4.45 y con una deformación no mayor a los .3 mm. Por lo tanto, no es posible generar las estructuras para sustituto del cartílago, sin embargo, es posible reforzar o cambiar algunos elementos en donde se concentran una gran cantidad de esfuerzos. Cabe mencionar, que esta metodología se estuvo realizando durante todo el proceso de análisis sin embargo no se logró que la respuesta estructural fuera satisfactoria de acuerdo con los diseños propuestos.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo mostraron diversas estructuras posibles para el inserto de polietileno de una prótesis de tobillo. Las estructuras propuestas presentaron un factor de seguridad menor a

la unidad si el desplazamiento obtenido era el requerido, sin embargo, si se garantizaba el factor de seguridad mayor a la unidad, el desplazamiento no era el deseado. Por lo anterior, esta investigación aún tiene bastante campo para optimización estructural y es posible generar otras geometrías e incluso trabajar con las mismas propuestas de este trabajo y hacer cambios significativos para que así de esa manera se puede encontrar una estructura que cumpla con los requerimientos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de Guanajuato por brindarme el apoyo para realizar este gran proyecto.

Agradezco al Dr. Agustín Vidal por dejar que formara parte de su investigación, así como la ayuda y orientación que me brindo por para realizar este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Sous Sánchez, José O.; Navarro Navarro, R.; Navarro García, R.; Brito Ojeda, E.; Ruiz Caballero, J.A. (2011). Bases Biomecánicas del Tobillo. CANARIAS MÉDICA Y QUIRÚRGICA,8(24),13-20
- [2] K. A. ATHANASIOU, G. G. NIEDERAUER, and R. C. SCHENCK, JR.(1995). Biomechanical Topography of Human Ankle Cartilage. Annals of Biomedical Engineering,23, 697-704.
- [3]Budynas, Richard, G. Nisbett, J. Diseño en Ingeniería Mecánica