



DISEÑO DE UNA FÉRULA PLÁSTICA PARA EL TRATAMIENTO DE FRACTURAS EN EXTREMIDADES DE MASCOTAS

Itzel Alejandra Ramírez Rivera^a, Mario Alberto Rodríguez Angeles^{a,*}, Edilberto Murrieta Luna^a

^a Departamento de Ingeniería en Plásticos, Universidad Politécnica de Juventino Rosas, calle Hidalgo 102, Comunidad de Valencia, Santa Cruz de Juventino Rosas, Gto., C.P. 38253, México .

mrodriguez_ptc@upjr.edu.mx

Resumen

Actualmente, en muchos hogares se consideran a las mascotas como un miembro más de la familia, por lo que los dueños es estas han mostrado una creciente preocupación, sobre todo por la salud de ellas. En este ámbito, uno de los principales problemas que se han detectado, es en cuanto a los tratamientos para fracturas. El proceso de sanación de las fracturas en mascotas suele ser complicado, pues no existen férulas adecuadas que permitan que el hueso sane sin provocar otros problemas o molestias. En el presente proyecto, se realizó una investigación de campo para conocer los tipos de fracturas más comunes en las mascotas que presentan a las clínicas veterinarias, en qué tipo de animal se presentan y el tamaño promedio de estos. Con base en estos datos y las observaciones realizadas por los veterinarios respecto a tratamientos ya existentes, se diseñó una férula para el tratamiento de las fracturas más frecuentes. La pieza fue adaptada ergonómicamente para funcionar en perros de raza pequeña. Finalmente, se generó la geometría representativa de la férula, se propusieron materiales para su manufactura y se realizaron pruebas de resistencia y flexibilidad mediante simulaciones con elemento finito para verificar su funcionalidad.

Palabras clave: Férula canina, Diseño conceptual, Pruebas mecánicas

DESIGN OF A PLASTIC SPLINT FOR THE TREATMENT OF FRACTURES IN LIMBS OF PETS

Abstract

Currently, in many homes pets are considered as one more member of the family, so the owners of these have shown increasing concern, especially for their health. In this area, one of the main



problems that have been detected is in terms of treatments for fractures. The healing process of fractures in pets is often complicated, as there are no adequate splints that allow the bone to heal without causing other problems or discomfort. In this project, a field investigation was carried out to find out the most common types of fractures in pets that present to veterinary clinics, in what type of animal they occur and their average size. Based on these data and the observations made by the veterinarians regarding existing treatments, a splint was designed for the treatment of the most frequent fractures. The piece was ergonomically adapted to work on small breed dogs. Finally, the representative geometry of the splint was generated, materials for its manufacture were proposed, and resistance and flexibility tests were carried out through finite element simulations to verify its functionality.

Keywords: Canine splint, Conceptual design, Mechanical tests

1. Introducción

Actualmente, existen diversos factores que han favorecido el incremento del número de animales de compañía. De acuerdo a los resultados obtenidos de la encuesta ENBIARE 2021 realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en México, el 69.8% de la población cuenta con algún tipo de mascotas. En total se tiene un acumulado de 80 millones de mascotas, de los cuales el 54.75% de ellas son caninos (INEGI, 2021). Además, debido a un cambio social, cultural y hasta psicológico, es un hecho que las mascotas han tomado una mayor importancia en la vida de las familias que las poseen, llegando a ser consideradas

incluso como un miembro más de la familia. Como tal, para la mayoría de las personas que poseen una mascota, se vuelve importante tanto la alimentación como los servicios médicos que le puedan suministrar.

Desafortunadamente, la medicina veterinaria no ha evolucionado a la par con la medicina humana, teniendo un notable atraso en algunas áreas que requieren de cuidados diferentes. Uno de los principales problemas en el sector veterinario es el tratamiento de fracturas en los huesos de las extremidades (González-Chávez y Zamora-Montalvo, 2018), pues estas requieren un largo tiempo de recuperación y cuidados especiales que se complican



por la naturaleza inquieta de las mascotas. Aunque existen diversos métodos para el tratamiento de las fracturas de mascotas, sobre todo en el caso de canes (Söns-Mazumoto, 2013), la mayoría son incómodas para el paciente, son fáciles de arrancar por ellos mismos o bien, no inmovilizan completamente la parte afectada, por lo cual los huesos no sanan de forma adecuada (Ocampo y col., 2011).

A pesar de que existen en la literatura, amplios estudios veterinarios para afecciones en las extremidades de mascotas, la mayoría se enfoca en resolver problemas como la falta de movilidad (Herrera-Pérez y col., 2020) o la amputación de ellas (Arauz y col., 2021), destacando incluso procedimientos quirúrgicos novedosos de reemplazo óseo (Timercan y col., 2019).

Por otro lado, los estudios reportados para al tratamiento de fracturas, son más antiguos y mucho menos numerosos, además, se enfocan mayormente a fracturas graves con procedimientos quirúrgicos complicados (Yardimci, 2011; Ramírez y Macías, 2016). Para el caso de tratamiento de fracturas sin cirugía o fijación externa, las opciones se reducen al

uso de las férulas comunes (Mana y col., 2022) o propuestas de inmovilizadores (Cortes-Ospina, 2013).

Las férulas que existen actualmente, generalmente constan de piezas o varas metálicas, tela y vendajes que los veterinarios adaptan a la anatomía del animal y a los requerimientos de acuerdo al tipo de lesión. El modelo de férula de Thomas Schroeder, por ejemplo, es utilizado para fracturas sufridas en caninos en fémur, sin embargo las férulas de yeso son las más comunes debido a su bajo precio.

El principal problema con estos tratamientos es que no se cuenta con una forma o material especial que pueda propiciar la correcta restauración del hueso. Debido a esto, se pueden presentar efectos secundarios negativos como problemas en la piel ocasionadas por la humedad, así como complicaciones por el desplazamiento de la férula dada la actividad del animal; además, si la fractura de fémur no se repara adecuadamente ésta puede ocasionarle complicaciones graves a largo plazo dejando secuelas tales como rigidez o inmovilización del miembro afectado.



Para la fabricación de férulas en el sector veterinario, los materiales plásticos parecen una mejor opción, debido a que poseen propiedades mecánicas adecuadas para contener una lesión ósea, son resistentes a la humedad y pueden modelarse fácilmente a estructuras específicas. Además, con la posibilidad de utilizar la impresión 3D, se ofrece una elaboración rápida para la fabricación de prototipos con un bajo costo tanto en componentes como materiales. De hecho, ya existe en el mercado la posibilidad de generar férulas para lesiones en humanos, por lo que algunos autores ya han propuesto que se sigan los mismos pasos (Imbago-Arévalo, 2021). Sin embargo, aunque las extremidades de las mascotas poseen esencialmente los mismos huesos que las extremidades humanas, su disposición y forma son muy diferentes por lo que se tiene un arduo trabajo en el desarrollo de férulas para mascotas para poderles ofrecer la misma comodidad que para los humanos.

En el presente trabajo se realizó el diseño de una férula para mascotas. Apoyados en opiniones de expertos, se seleccionó el tipo de mascota, el tamaño y la zona para la cual se generó, atendiendo a las

necesidades más frecuentes. La férula generada fue probada para verificar que cumpliera con los requerimientos necesarios como la resistencia mecánica, facilidad de colocación y bajo costo.

2. Metodología

2.1. Recolección de información.

Los animales domésticos poseen tamaños y pesos muy diferentes, además, las fracturas en sus extremidades pueden presentarse en diferentes huesos y partes de ellos, teniendo por lo tanto tratamientos y requerimientos de inmovilización muy variados. Como consecuencia, los tipos y formas de férulas que pueden llegar a utilizarse pueden ser muy diferentes. La selección del tipo de férula a elaborar, se realizó considerando el tipo de mascota y la fractura que se presentan más frecuentemente; para ello, se visitaron y encuestaron a personal de 17 clínicas veterinarias en las ciudades de Celaya, Juventino Rosas y Cortázar. En cada clínica se cuestionó a los médicos veterinarios sobre el tipo y tamaño de mascotas que se atendía más frecuentemente por fractura en extremidades, además de la zona en donde



se presentaba la fractura. Adicionalmente, se preguntó su opinión sobre los tratamientos para inmovilización de huesos fracturados y cuáles son los requerimientos necesarios que debe tener una férula. Los resultados de esta encuesta fueron utilizados para definir las bases de diseño de la férula.

2.2. Modelado anatómico

Según los resultados de las encuestas, se seleccionó un sujeto de prueba con medidas promedio. Se tomaron medidas tanto de longitud como de contornos de la zona del animal en donde se colocará la férula propuesta; además, se colocó la extremidad en la posición anatómicamente correcta, según la opinión de un experto veterinario, y se tomaron fotografías en diferentes planos.

Con las imágenes obtenidas del sujeto de prueba y considerando su anatomía ósea, se elaboró un bosquejo para determinar la forma y posición de la férula, de manera que se adapte ergonómicamente a la zona afectada y pueda ser capaz de inmovilizar la extremidad sin ser demasiado incómoda para el paciente.

Las medidas y contornos obtenidos de la extremidad del sujeto de prueba, fueron utilizados para generar la geometría de la pata del animal, haciendo uso del software SolidWorks. Primero se crearon contornos y perfiles base que se utilizaron posteriormente para generar un modelo 3D de la extremidad y finalmente modelar la férula.

2.3. Selección de materiales

Según las opiniones de los veterinarios, la férula tiene requerimientos específicos en cuanto a rigidez, ligereza, ergonomía y, sobre todo, costo. Para cumplir con estas características, se propuso el uso de materiales plásticos, sin embargo, se debe considerar que algunos de ellos son demasiado flexibles, la cual no es una característica deseable en un dispositivo utilizado para fijación ósea. Por otro lado, también se debe considerar que el material seleccionado debe ser fácil de conseguir, manejar y transformar.

Por lo tanto, se realizó una búsqueda sobre los materiales plásticos que podrían utilizarse para elaborar la pieza, basados en los factores mencionados. De los materiales revisados, se eligieron algunos



y se realizaron con ellos algunos estudios para encontrar la mejor opción para la elaboración de la férula

2.4. Pruebas de resistencia de la pieza

El modelo 3D de la férula fue exportado para realizar una serie de simulaciones en donde se determinó su deformación al someterlo a distintos esfuerzos. Las simulaciones fueron llevadas a cabo en el software ANSYS Mechanical APDL versión estudiantil.

Se realizó una búsqueda de las propiedades mecánicas de los materiales propuestos para elaborar la férula, y con ellas se crearon y se cargaron los materiales a la base de datos del software.

Se realizó un mallado para la geometría representativa de la pieza, utilizando elementos tetraédricos debido a la irregularidad de la forma. Se generaron en total 6 mallas diferentes utilizando elementos de 2, 1.5, 1, 0.5, 0.25 y 0.15 cm, con las cuales se llevó a cabo un análisis de malla utilizando como variable entrante una fuerza y como variable de respuesta la deformación de la pieza. Se seleccionó como la mejor malla aquella que tuviera el menor número de elementos y que a su vez arrojara resultados con un error menor al

5% con respecto a la malla con celdas más numerosas posible.

Con la malla seleccionada se realizaron series de simulaciones para determinar la deformación que sufriría la férula cuando una mascota intentara moverse, por lo que se colocaron fuerzas en puntos clave de la pieza para intentar flexionarla o torcerla. Estas simulaciones se corrieron para cada material seleccionado y se realizó un comparativo para determinar si son aptos para su uso.

2.4. Comparación de materiales

Los materiales probados que superaron las pruebas de deformación fueron comparados para definir cuál será el adecuado para usar en la férula. Finalmente, se realizó una investigación para encontrar y determinar el costo que tendría el material para elaborar la pieza, por lo que se realizó una investigación sobre los costos por kilogramo de material. El costo de la pieza también se utilizó para romper empates entre los materiales que tuvieron un comportamiento similar en las pruebas de deformación.



3. Resultados

Las encuestas realizadas a los médicos veterinarios entrevistados aportaron la información necesaria para definir el tipo y la forma de la férula a elaborar, mientras que los análisis virtuales realizados a esta pieza ayudaron a definir el material de elaboración y verificar su resistencia. A continuación se muestra el análisis realizado en cada caso.

3.1. Análisis de encuestas

La Federación Cinológica Internacional (FCI) indica que las razas de perros pueden agruparse según su peso en: toys o enanos (<5Kg), perros pequeños (de 5 a 14 kg), medianos (de 15 a 25 kg), perros grandes (de 26 a 49 kg) y gigantes (≥ 50 kg) (FCI, 2018). Según los médicos veterinarios encuestados, las mascotas que más se presentan en las clínicas con problemas de fracturas en las extremidades son los canes, siendo los de talla toys y chicos los de mayor frecuencia con un 53%. En cuanto a la zona de las fracturas comunes, en la Figura 1 se muestra la distribución de los casos que más se han observado en las clínicas; como se puede observar, el hueso

que más fracturas presenta es el fémur con un 41.2% de los casos.

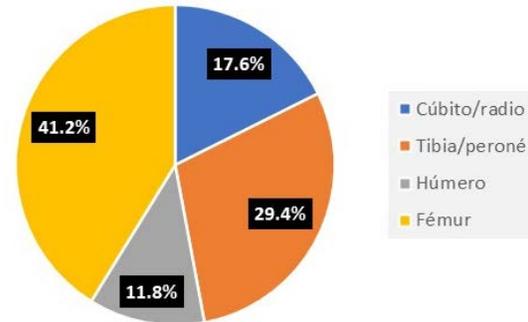


Figura 1. Localización de fracturas en huesos de perros

Los huesos largos de las extremidades se dividían en 3 zonas: proximal, distal y diáfisis, siendo esta última la parte media del hueso y donde más comúnmente se encuentran las fracturas. Una mejor distribución de los casos de fractura presentados en las clínicas se puede apreciar en la Figura 2, pues se aprecian las frecuencias por huesos y por zona.

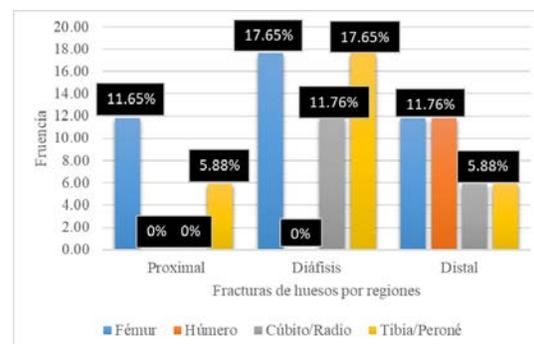


Figura 2. Distribución de las fracturas más frecuentes en extremidades caninas



Los resultados de las encuestas concuerdan con investigaciones realizadas incluso en otros países (Flores-Jáuregui y Grandez-Rodríguez, 2017; González-Chávez y Zamora-Montalvo, 2018). Con base en estos resultados, se propuso elaborar una férula para fracturas femorales diafisarias en perros de raza pequeña, es decir de entre 5 y 14 kg de peso.

3.2. Diseño conceptual

Los veterinarios encuestados reportaron que actualmente existen diferentes tipos de férulas para canes en el mercado, sin embargo tienen varias desventajas, algunas de ellas con consecuencias graves, como puede verse en la Tabla 1.

Según la información dada por los médicos veterinarios, las férulas deben cumplir con las siguientes características:

- Resistentes
- Ligeras
- Durables
- Biocompatibles
- Económicas
- Fácil de colocar y retirar

- Cómodas
- No almacenar humedad

Tabla 1. Principales desventajas de las férulas caninas existentes

| Por funcionalidad |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Presentan alta rigidez, lo que genera incomodidad al paciente y puede llegar a lastimarlo. • Los materiales no son resistentes a las mordidas del animal o intemperie. • Los materiales no logran mantener la férula fija sin un extremo cuidado de los dueños al paciente. • Existen complicaciones en la revisión ya que se debe retirar y volver a colocar. |
| Por efectos secundarios |
| <ul style="list-style-type: none"> • Puede ocasionar necrosis en los dedos del animal. • Guarda humedad y puede producir proliferación fúngica. • Daño en nervios. • Piodermas y laceraciones en la piel. • Ocasionan estrés al paciente. • Puede no restaurarse bien el hueso. |

Cabe mencionar que, durante las entrevistas, se hizo hincapié en la importancia de que las férula tuviera un costo bajo, ya que la mayoría de las personas que acudían a las veterinarias,



declinaban los tratamientos de fractura por su elevado costo. Además, es deseable que esta férula pueda ser adquirida por cualquier persona, incluyendo a dueños de refugios de mascotas, en donde generalmente no se tienen los recursos suficientes para pagar tratamientos costosos.

Por todo esto, se determinó que la funcionalidad de la férula depende principalmente de tres factores: la forma física, el material de elaboración y el proceso de fabricación.

3.3. Desarrollo de la pieza

Para dimensionar y dar forma a la férula canina, se utilizó como modelo un perro adulto mestizo de 10kg de peso. Debido a que no se cuenta con un escáner 3D para generar la geometría, de la extremidad del perro, el proceso fue manual.

Inicialmente se le tomaron al perro las siguientes medidas en la extremidad posterior:

M1: longitud desde la zona proximal del fémur hasta la región del tarso

M2: ancho de la pata en la zona más amplia encontrada

M3: Ancho de la pata en la región del tarso

M4: Altura medida desde el área proximal del fémur a las almohadillas plantares.

El esquema de medición se muestra en la Figura 3.

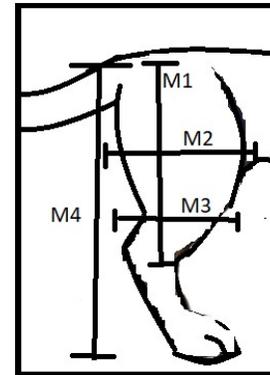


Figura 3. Esquema de toma de medidas del sujeto de prueba

Los contornos principales para la geometría de la pata se obtuvieron por medio de fotografías como las mostradas en la Figura 4.



Figura 4. Vista lateral y posterior de pata canina trasera.



Para modelar el contorno de la extremidad, se utilizaron moldes hechos de alambre rígido colocados alrededor de la pata del animal, ajustándolo para tomar el mayor detalle posible. El uso de estos alambres se debió a que pueden conservar la forma de la pata del animal, sin que su colocación y amoldamiento le representen demasiada molestia, por lo que se pueden colocar con este despierto y de pie, manteniendo la posición natural de la extremidad; a diferencia del yeso u otros materiales que requieren la inmovilización del animal mientras se endurecen, cambiando la posición de la pata por la relajación muscular. Como se observa en la Figura 5, los alambres se ajustaron a diferentes alturas para obtener un mejor perfil.

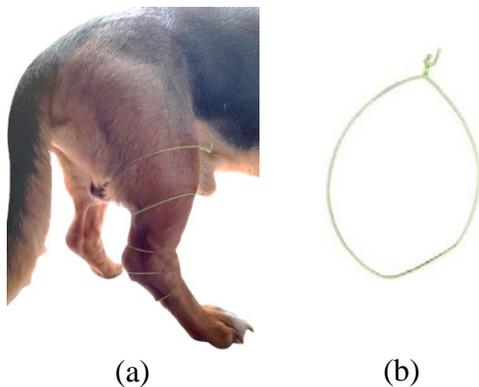


Figura 5. Moldes guía con alambre rígido: a) colocación, b) detalle

Usando las medidas y contornos, se elaboró en SolidWorks una superficie

representando la forma de la extremidad, como se puede apreciar en la Figura 6.

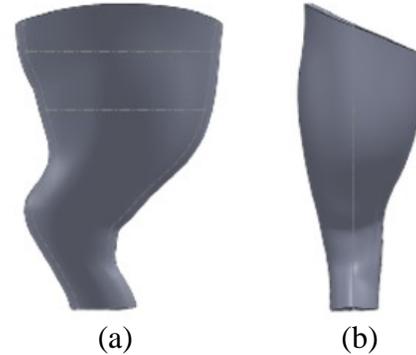


Figura 6. Modelo de la extremidad posterior:
a) vista lateral b) vista posterior

Posteriormente, se realizó el bosquejo de la geometría de la férula mostrado en la Figura 7. En este bosquejo, se tomó en cuenta la zona que debe cubrir e inmovilizar la férula en caso de una fractura diafisaria de fémur, además de las zonas en donde deben ir los instrumentos de fijación.

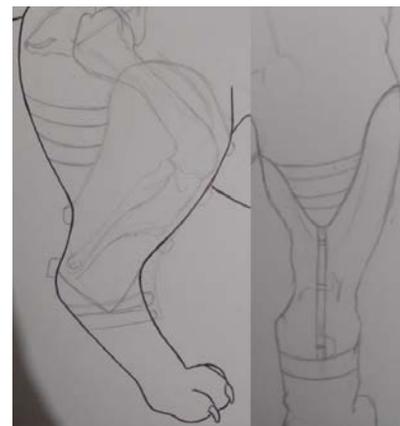


Figura 7. Bosquejo de la férula



El bosquejo se escaló y se dibujó en SolidWorks para finalmente, al combinarlo con el modelo de la extremidad, obtener la geometría de la férula, la cual se muestra en la Figura 8.

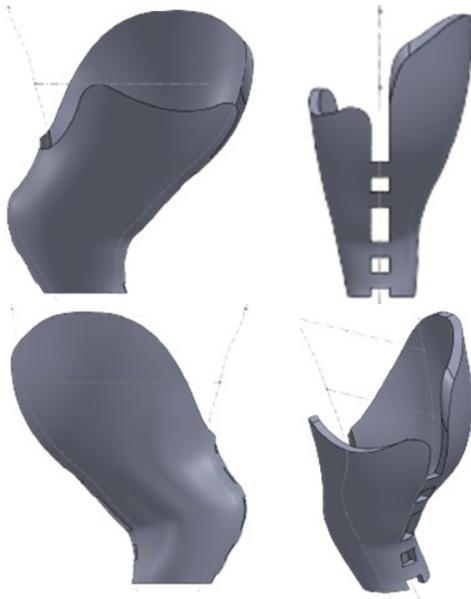


Figura 8. Férula para fractura en fémur de caninos.

Esta pieza está formada de dos partes que al acoplarse por medio de tornillos de sujeción mantienen el contorno del miembro en su posición funcional, considerando ángulos normales de las articulaciones, permitiendo de esta manera la deambulacion del paciente y el apoyo activo del miembro inmovilizando las articulaciones del tarso.

3.4. Materiales

Debido a que uno de los principales requisitos para la férula es el bajo costo, se propuso que el proceso para elaborar la pieza fuera la impresión 3D. Este proceso es relativamente sencillo y económico cuando se trata de obtener un número reducido de piezas, además ya existen aplicaciones de este proceso a la medicina veterinaria, donde se ha demostrado adaptarse bastante bien a los requerimientos de las piezas (Leonardi y col., 2021). Por otro lado, las impresoras 3D son equipos relativamente económicos a comparación de otros usados en la transformación de plásticos y pueden ser adquiridos por cualquier clínica veterinaria.

Con la selección del método de elaboración, los materiales que se pueden utilizar se reducen, ya que no cualquier plástico es apto para ser impreso.

Tabla 2. Materiales para impresión 3D

| Material | ρ (kg/m ³) | Tg (°C) | Ti (°C) | Precio \$MX/kg |
|----------|--------------------------------|------------|------------|-------------------|
| PLA | 1240 | 63 | 180 - 230 | 600 |
| ABS | 1040 | 105 | 230 - 260 | 600 |
| PETG | 1270 | 85 | 210 - 250 | 600 |
| HIPS | 1040 | 100 | 230 - 240 | 800 |
| PC | 1300 | 147 | 260 - 310 | 1000 |

En la Tabla 2 se muestran algunos de los materiales utilizados en impresión 3D. Se



muestran como propiedades principales su densidad (ρ), temperatura de transición vítrea (T_g), la temperatura a la cual se imprimen (T_i), y su precio por kilogramo en el mercado en pesos mexicanos.

Tanto el poliestireno de alto impacto (HIPS) como el policarbonato (PC) presentan un costo elevado, además de que el HIPS es recomendado más como material de soporte que para la elaboración de la pieza.

El Ácido Poliláctico (APL), el Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS) y el PET modificado (PETG) tienen el mismo precio, por lo cual podría utilizarse cualquiera de estos tres basados en este aspecto. También los 3 polímeros tienen una buena disponibilidad en el mercado, por lo cual se pueden considerar para la elaboración de la férula. Sin embargo, debido a que las propiedades mecánicas del PETG son muy parecidas al ABS, solo se probará este último en las simulaciones

3.5. Pruebas mecánicas

La realización de las pruebas mecánicas requiere de cargar las propiedades de los materiales a utilizar al software. Aunque

las propiedades mecánicas de los materiales normalmente estandarizadas, diversos autores (Rodríguez-panes y col., 2021; Molina-Osejos y col., 2019; Subramaniam y col., 2019) han demostrado que en la elaboración de piezas por impresión 3D las propiedades mecánicas de estas tienen valores menores debido a la forma en que se deposita el material. Por lo tanto, se utilizaron en este estudio las propiedades reportadas en estos mismos trabajos.

Las simulaciones de la prueba de deformación de la pieza se llevaron a cabo fijando la parte superior de la férula, y aplicando una fuerza en la parte inferior para intentar doblarla, justo como sucedería si el perro intentara flexionar o estirar la extremidad, como se muestra en la Figura 9.

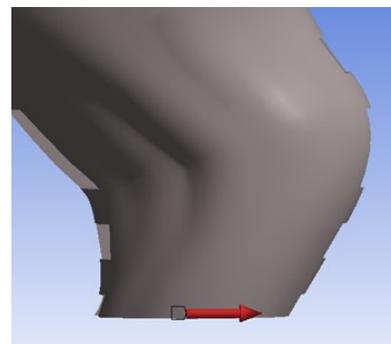


Figura 9. Posición de la fuerza utilizada para flexión

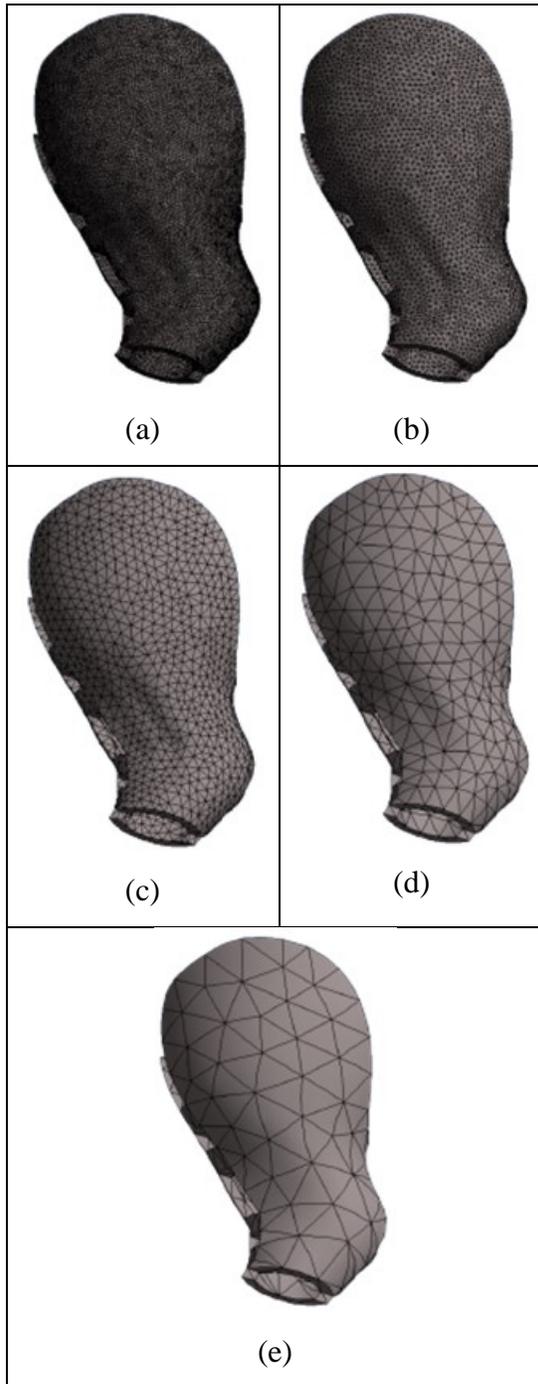


Figura 10. Piezas malladas con un tamaño de celda de: a) 0.15, b) 0.25, c) 0.50, d) 1.00 y e) 2.00 cm.

La Figura 10 muestra las mallas con diferentes tamaños de celda para realizar el

análisis de malla. Los resultados de este análisis, mostrados en la Tabla 3 y Figura 11, indican que a partir de un tamaño de celda de 0.25 cm existe un aumento significativo en el número de elementos formados, sin embargo, la diferencia en deformación con respecto a un tamaño de celda de 0.5 cm son menores al 5 %, por lo cual puede decirse que esta última representa el tamaño adecuado.

Tabla 3. Resultados del análisis de malla

| Tamaño de celda (cm) | Elementos | Deformación (mm) |
|----------------------|-----------|------------------|
| 2.00 | 603 | 0.2042 |
| 1.50 | 898 | 0.2245 |
| 1.25 | 1203 | 0.2311 |
| 1.00 | 1662 | 0.2388 |
| 0.50 | 8082 | 0.2537 |
| 0.25 | 65673 | 0.2628 |
| 0.15 | 291280 | 0.2659 |

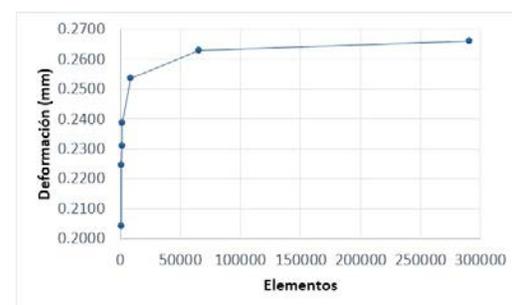


Figura 11. Gráfica de los resultados del análisis de malla

Como se mencionó anteriormente, las simulaciones de deformación para cada material seleccionado, se llevaron a cabo el software ANSYS mechanical APDL.



Aunque no se realizó un comparativo experimental en esta investigación, existen antecedentes de que este software puede predecir correctamente el comportamiento mecánico de plásticos en la zona elástica (López-Cabrera y col., 2020). Las cargas utilizadas para las simulaciones de deformación van desde 200 a 1000 N, considerando un escalamiento posterior para perros de razas más grandes. Estos valores de carga son bastante pequeños por lo que se está trabajando muy por debajo del límite elástico de los materiales.

Como resultado de la simulación, se puede observar en las Figuras 12 y 13 que la pieza solo se deforma ligeramente en la esquina inferior del perfil externo con un máximo de 1.2891 mm.

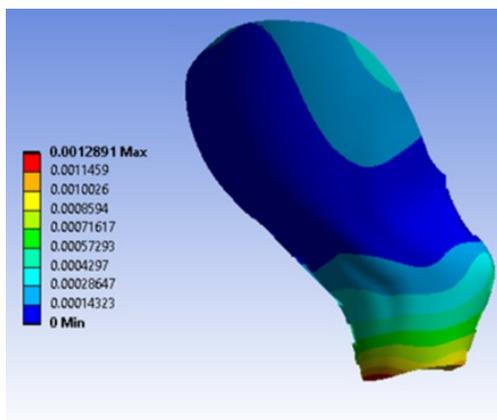


Figura 12. Perfiles de deformación en la férula

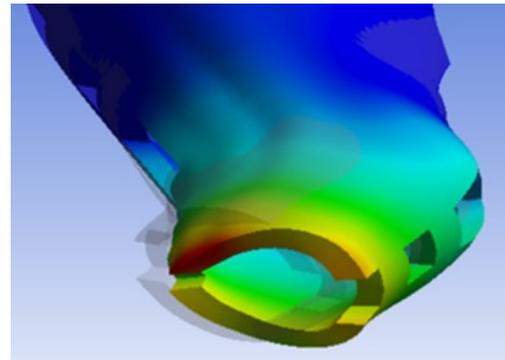


Figura 13. Detalle de la deformación máxima de la férula

En la Figura 14 se muestran los resultados de la deformación graficados con respecto a la fuerza aplicada, se puede observar que aún para 1000N aplicados, la deformación en ambos casos es menor de 1.6mm tanto para el caso del PLA como para el ABS, siendo este último el que menos se deforma. Debido a esto, se puede decir que la férula resultará efectiva para mantener la extremidad en su posición.

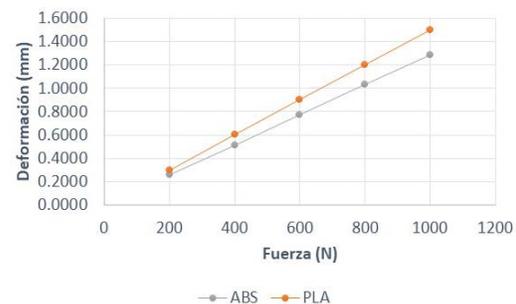


Figura 14. Gráfica Fuerza vs Deformación para la pieza hecha con ABS y PLA



3.5. Costo del material

Ambos materiales probados demostraron ser lo suficientemente resistentes para su uso en la elaboración de la férula. Por lo tanto se realizó el análisis económico de la pieza elaborada con PLA, ABS y se incluirá el PETG.

El volumen de material requerido para la pieza es de 115.40 cm³, utilizando las densidades y precios por kilogramo de los materiales mostrados en la Tabla 2, se obtienen los pesos y precios totales de la pieza, mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Masa y costo de la férula con los materiales seleccionados

| Material | Masa (gr) | Costo \$MX |
|----------|-----------|------------|
| PLA | 143.1 | 85.86 |
| ABS | 120.0 | 72.00 |
| PETG | 146.6 | 87.96 |

Como se puede observar, la férula elaborada cumplirá con los requisitos de ligereza y economía especificados. Cabe mencionar que los costos mencionados, solo incluyen el material justo para la pieza, estos se verán modificados una vez que se establezca el método de impresión ya que falta considerar el material para soportes y los costos por manufactura.

4. Conclusiones

En este trabajo se llevó a cabo el diseño y pruebas por simulación de una férula para mascotas. Tanto el trabajo de campo como la información reportada en fuentes bibliográficas señalaron que la necesidad de elaborar una férula es mayor para tratamiento de fracturas de fémur en perros de raza pequeña, ya que son las que se presentan más frecuentemente.

Aunque la férula fue elaborada utilizando las medidas de un sujeto de prueba, el diseño de dos piezas permite ser ajustada para perros un poco más robustos o más delgados de la zona femoral. El diseño mostrado puede ser escalado para utilizarse en perros de mayor tamaño, ya que las simulaciones demostraron que la pieza puede resistir una fuerza de hasta 1000N con deformaciones muy pequeñas.

Se sugiere que el método de elaboración de la pieza sea impresión 3D. En este caso, el ABS pareciera ser la mejor opción del material, sin embargo, si este presenta complicaciones durante el proceso de impresión, puede ser cambiado por PLA o PETG, ya que la pieza de este material presentó diferencias mínimas tanto en la



deformación como en el costo del material necesario.

Aunque ya se han definido varias características de la pieza en este trabajo, aún falta por satisfacer algunas necesidades señaladas por los veterinarios, como la forma de sujetarla y reducir el área de contacto con la piel del animal para evitar la aparición de hongos o lesiones, además, también se requiere generar una metodología para la impresión de la pieza, por lo cual estos problemas se tratarán en un trabajo posterior.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Médico Veterinario Filiberto Rodríguez Martínez por su valiosa contribución a este trabajo, al brindarnos su apoyo y supervisión en la elaboración de la férula.

Referencias bibliográficas

Arauz, P. G., Chiriboga, P., García, M. G., Kao, I. & Díaz, E. A. (2021). New technologies applied to canine limb prostheses: A review. *Veterinary World*,

14(10), 2793–2802. Doi:
10.14202/vetworld.2021.2793-2802

Cortes-Ospina, M. (2013). Inmovilizador para extremidades anterior en canino, con incapacidad temporal causada por fracturas simples, a bajo costo. Tesis de Licenciatura. Universidad Católica de Pereira.

Federation Cynologique Internationale (2022). Nomenclatura de las Razas de la FCI. Recuperado el 8 de marzo de 2022 de <https://www.fci.be/es/Nomenclature/>

Flores-Jáuregui, P.A. & Grandez-Rodríguez, R. (2017). Características de las fracturas en huesos largos apendiculares en pacientes caninos atendidos en el servicio radiología de la Clínica Veterinaria de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, periodo 2013 - 2015. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 5(2), 24-30. Doi: 10.20453/stv.v5i2.3250

González-Chávez, M.T. & Zamora-Montalvo, Y. (2018). Caracterización de fracturas femorales de caninos atendidos en un servicio asistencial veterinario de La Habana Cuba. *Revista de Salud Animal*, 40(1) 2224-4700. Cadena, J. D. & Villegas, D. F. (2020). A mechanism synthesis and modeling for correction of hip dysplasia in



medium and large dog breeds. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 279-286.

Doi:10.18273/revuin.v19n4-2020023

Imbago-Arévalo, K. D. (2021). Diseño generativo para el desarrollo de órtesis de canes. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

INEGI (2021). Encuesta Nacional de Bienestar Autorreportado (ENBIARE) 2021. Recuperado el 9 de septiembre de 2022, de <https://www.inegi.org.mx/programas/enbiare/2021/>

Leonardi, L., Marsili, R., Bellezza, E., Angeli, G., Emiliani, C., Ricci, A. & Rossi, G. (2021). A pilot study on the use of 3D printers in veterinary medicine. *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*, 14(3), 159-164. Doi:10.24070/bjvp.1983-0246.v14i3p159-164

López-Cabrera, S. D., Pineda-Xoconoxtle, A. M., Rodríguez-Angeles, M. A., Rivera-Arredondo, M. & Murrieta-Luna, E. (2020). Análisis estructural de muestras de plásticos mediante simulaciones con elemento finito. *Memorias del 7º Encuentro Anual de Estudiantes*

Herrera-Pérez, F. S., Joya-

: *Investigación e Innovación en la DCNE 2020*. Guanajuato, México. 10-15.

Mana, H. P., Haruna, A. A., Abba, A. B & Idris, M. A. (2022). Management of compound fracture of the radius and ulna using pop and splints in a Nigerian Indigenous breed of dog: Case report. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*, 7(2), 21-24.

Molina-Osejos, J. V., Ayabaca-Sarria, C., Peralta-Zurita, D. B., Gómez-Rosero, S. & Moreno-Jiménez, G. A. (2019). Mechanical capabilities of semi-rigid thermoplastics ABS and PLA from 3D printing. *International Journal of Materials and Product Technology*, 59(3), 253–269. Doi:10.1504/ijmpt.2019.102938

Ocampo, M., Penagos, E. & Ramírez, N. (2011). Tratamiento de una fractura distal del Fémur de un joven canino. *Revista Facultad De Ciencias Agropecuarias*, 3(2), 40–43.

Ramírez, J. M. & Macías, C. (2016). Conventional bone plate fixation of distal radius and ulna fractures in toy breed dogs. *Australian Veterinary Journal*, 94(3), 76–80. Doi:10.1111/avj.12408



Rodríguez-Panes, A., Claver, J. & Camacho, A. M. (2021). The influence of manufacturing parameters on the mechanical behaviour of PLA and ABS pieces manufactured by FDM: a comparative analysis. *Materials*, 11(8), 1333. Doi:10.3390/ma11081333

Söns Matsumoto, A. H. (2013). Manual Práctico de Férulas y vendajes para pequeñas especies. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Subramaniam, S. R., Samykano, M., Selvamani, S. K., Ngui, W. K., Kadirgama, K., Sudhakar, K. & Idris M. S. (2019). Preliminary investigations of polylactic

acid (PLA) properties. *AIP Conference Proceedings*, 2059, 020038. Doi:10.1063/1.5085981

Timercan, A., Brailovski, V., Petit, Y., Lussier, B. & Séguin B. (2019). Personalized 3D-printed endoprostheses for limb sparing in dogs: Modeling and in vitro testing. *Medical Engineering and Physics*, 71, 17-29. Doi: 10.1016/j.medengphy.2019.07.005

Yardimci, C., Ozak, A. & Nisbet, H. O. (2011). Management of Femoral Fractures in Dogs with Unilateral Semicircular External Skeletal Fixators. *Veterinary Surgery*, 40(3), 379–387. Doi:10.1111/j.1532-950x.2010.00793.x