

Artículo de Investigación

## Diseño y construcción de una prótesis de pata de can con amputación de extremidad delantera mediante impresión 3D

*Design and construction of a prosthesis for a dog's leg with amputation of the front limb through 3D printing*

Segundo Manuel Espín-Lagos <sup>1\*</sup>, Erick Omar Urrutia Nogales <sup>1</sup>, Jorge Patricio Guamanquispe Toasa <sup>1</sup>, Alejandra Marlene Lascano Moreta <sup>1</sup>, Diego Freire Romero <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 180201; eurrutia1848@uta.edu.ec; jp.guamanquispe@uta.edu.ec; am.lascano@uta.edu.ec

<sup>2</sup> Harbert International Establishment S de RL, Sucumbios Shushufindi, Ecuador, 210401; freired@harbert.com.ec

\*Correspondencia: sespín@uta.edu.ec

**Citación:** Espín-Lagos, S., Urrutia, E., Guamanquispe, J., Lascano, A., & Freire, D., (2023). Diseño y construcción de una prótesis de pata de can con amputación de extremidad delantera mediante impresión 3d. *Novasinergia*. 6(2). 140-150.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.12.09>

Recibido: 02 mayo 2023

Aceptado: 22 junio 2023

Publicación: 14 julio 2023

Novasinergia  
ISSN: 2631-2654

**Resumen:** El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar y fabricar un prototipo de prótesis utilizando la tecnología de manufactura por adición o impresión 3D para un can que ha sufrido una amputación. Este proyecto surgió de la necesidad que tienen los canes que han sufrido amputaciones y desarrollan distrofias musculares y otros problemas de salud, pero que las prótesis no se las encuentran comúnmente en el mercado. Como alternativa, se diseñó una prótesis que cumple con las necesidades del animal en un software de diseño asistido por computadora, posteriormente se sometió el elemento a un análisis estático mediante simulación y posteriormente se procedió con la impresión del elemento y el ensamble del prototipo obteniendo un elemento funcional y cómodo, sometiénose a pruebas de funcionamiento con el can beneficiado, el que presentó un desenvolvimiento óptimo en cuanto a confort y funcionalidad. Se concluye que la realización de prótesis mediante tecnología aditiva no solamente es posible si no que es una alternativa que reduce peso, costos y tiempo, además de brindar una enorme facilidad de diseño y manufactura.

**Palabras clave:** Amputación delantera, Canes, Distrofia, Impresión 3D, Prótesis.

**Abstract:** This work aimed to design and manufacture a prosthetic prototype using additive manufacturing technology, or 3D printing, for a dog that has suffered an amputation. This project began out of the need that dogs that suffered amputations and develop muscular dystrophies and other health problems have, but prosthetics are not commonly found on the market. Alternatively, a prosthesis that meets the animal's needs was designed in computer-aided design (CAD) software. Later, the element was subjected to a static analysis through simulation. Then it was printed, and the prototype was assembled, getting a functional and comfortable element that underwent performance tests with the benefited dog, which presented optimal performance in terms of comfort and functionality. It is concluded that the realization of prosthetics through additive manufacturing technology is not only possible but also an alternative that reduces weight, costs, and time, besides providing enormous ease of design and manufacturing.

**Keywords:** Canine, Dystrophy, Front amputation, Prosthetics, 3D printing.



**Copyright:** 2023 derechos otorgados por los autores a Novasinergia.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC).

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## 1. Introducción

El creciente aprecio por los animales de compañía (mascotas), ha provocado una búsqueda para ofrecer una vida plena. Sumado a este sentir la tecnología ha tomado un rol importante dentro de la medicina veterinaria, obteniendo grandes logros en sus investigaciones especialmente en la medicina ortopédica. Esta incursión ha generado el nacimiento de una industria, la que ha ofrecido algunos dispositivos que ayuden al animal con sus miembros deformados, sean por causas naturales o debido a una intervención quirúrgica. Hay un sin número de prótesis existentes en la actualidad dependiendo del tipo de problema encontrado. Sumado a esto el proceso de impresión 3D que ha tomado impulso en los últimos años, también ha intervenido en la fabricación de prótesis económicas y funcionales (Fernández J, 2004).

A nivel internacional una prótesis para mascota tiene un valor aproximado de €800, siendo un costo elevado que queda fuera del alcance de personas de economía media y baja, debido a los métodos de fabricación artesanal. Por ello se ha pensado en un método más eficaz y fácil de producción como es la impresión 3D la que ya se ha probado en otros especímenes con diferentes miembros como picos o partes de este para diferentes aves, aletas y partes de caparazones para tortugas terrestres y marinas hasta partes tan grandes como son las patas de elefantes (Quintana, 2022).

La utilización de este tipo de prótesis en Ecuador se ha venido dando desde hace ya una década, se empezó con sillas de ruedas al encontrarse un nicho de mercado con el aumento de la preocupación de las personas con el bienestar animal, este mercado en la actualidad representa \$140 millones de dólares según lo expuesto en el III Congreso Veterinario de León, el cual tuvo lugar en la ciudad de Guayaquil (Torres, 2019).

Encontrando productos tales como sillas de ruedas, prótesis, férulas o arneses, este mercado se ha diversificado en el Ecuador conforme se va incrementando el pedido de esto. Este fenómeno de crecimiento está ligado a las especies animales, que es aprovechado por canes, gatos, caballos, vacas, cerdos (Torres, 2019).

Como punto de partida para esta labor se tomó como materiales base elementos del reciclaje y se destinó a albergues para animales que no contaban con una familia que los respalde y con necesidad del dispositivo. Se manufacturaban artesanalmente empleando mayormente PVC, al cabo de unos meses se fue puliendo el proceso de creación de prótesis confeccionando sillas a medida. Este método generaba productos con valores entre \$100 y \$300, que cuentan con materiales propicios para la labor que desempeñaran sin causar alergias, además de una presentación acorde a los gustos del dueño (Torres, 2019).

Este proyecto tiene como beneficiario a un can que sufrió una amputación a unos centímetros de su codo. Se buscó ofrecer una solución para una problemática bastante común entre los dueños de mascotas, por lo que se planteó la fabricación de prótesis para este beneficiario. Esta idea nace del interés y la preocupación que genera la realidad que viven muchos canes al no disponer de alguna de sus extremidades, corriendo el riesgo de ser abandonadas o en el peor de los casos sacrificadas (Valverde P.D, 2016).

Los profesionales en salud animal sugieren una amputación completa en casos de traumas severos que afecten la extremidad. Muchas veces los veterinarios toman esta decisión tomando en cuenta el bienestar del animal, ejecutando procedimientos médicos relativamente recientes dentro de este campo. De la misma forma, es conocido que tanto canes como gatos pueden desempeñar una vida normal aun faltándole una de sus extremidades. Posiblemente, esta mentalidad se maneja debido a que no es un estigma social remarcado en la sociedad actual, por lo tanto, se cree que la amputación es el fin del problema, aunque no de manera completa (Rosas, S.R, 2016).

No obstante, profesionales en el campo de rehabilitación, movilidad y dolor crónico han dado a conocer desenlaces poco afortunados que se llegan a presentar en el resto de la extremidad pasado el tiempo (Acero, L, 2019). Estos incluyen, pero no se limitan a fracturas o fisuras en las demás extremidades, colapso de carpelos y/o tubos, daño y/o lesión de ligamentos cruzados, padecimiento de un dolor crónico en cuello y/o espalda, sobrepeso en el resto de las extremidades y síndrome de dolor miofascial. Dichos padecimientos según la revista American College of Veterinary Surgeons (2020), además de minorar la calidad de vida de las mascotas, influye en la reducción de su vida.

Con el objeto de dar una respuesta ante la problemática, nacieron las prótesis, las cuales son elementos palpables que simulan el funcionamiento de miembros o partes perdidas, como se muestra en la Figura 1. Estas mejoran o solucionan los problemas de movilidad generados por la ausencia de una extremidad. Es por esta razón, que gran parte de avances tecnológicos se han orientado a este campo, ya que con ellos se logra elevar la calidad de vida del paciente ya sea este hombre o animal. Todo con el objetivo de brindar la oportunidad al individuo de valerse por sí mismo y realizar una vida normal (Martí, S, 2019).

Como se mencionó anteriormente, el desarrollo de prótesis se ha venido dando desde hace mucho tiempo atrás, pero esto solo para humanos y muy limitadamente para los animales. Esto se debe a que en sus orígenes el tema de prótesis para animales no era más que una novedad, pero en años recientes, con el lento cambio de ideología de las personas y el fortalecimiento de leyes ante el maltrato animal, ha venido tomando fuerza, incluso llegando a desarrollar una gran ciencia denominada ortopedia y prótesis veterinarias o por sus siglas V-OP. Esta ciencia procura que animales puedan adaptarse y desenvolverse con prótesis. Esto gracias a que como se mencionó anteriormente las prótesis restauran la mayor parte de la movilidad y evitan problemas por la falta de extremidades, como se presenta en la Figura 1 (Zapat, M.L, 2017).

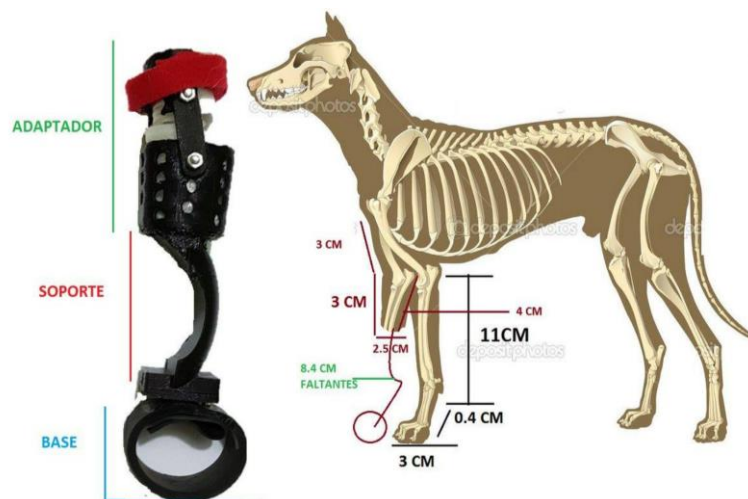


Figura 1: Primera prótesis canina (3D-printer) (Zapata Saavedra, 2017)

Por otra parte, la tecnología de deposición de material fundido o impresión 3D ha crecido enormemente en los últimos años, esto también en el campo de la fabricación de prótesis. En la actualidad se cuenta con técnicas, conocimientos y medios para que el tener una discapacidad no se vea afectado la vida cotidiana de los animales o personas (Ghosh, Hussain, Murthy, Khawade, & Singh, 2019). La implementación de esta tecnología está estrechamente relacionada a sus costos, estos son bajos en comparación a otros métodos de fabricación. Sumado a esto, se tiene una facilidad alta en el diseño. Los factores antes mencionados convierten a las prótesis en piezas asequibles para personas con una baja economía (Llerena, Barberan, & Chela, 2020).

## 2. Metodología

Para la obtención de la prótesis de pata de perro con amputación de extremidad delantera mediante impresión 3D se utilizó la siguiente metodología en forma secuencial:

- Diseño de la prótesis del can, considerando sus medidas anatómicas;
- Obtención de la prótesis mediante impresión 3D;
- Ensamblaje de los elementos.

### 2.1 Diseño de la prótesis del can, considerando sus medidas anatómicas

#### Análisis de fuerzas

Para determinar la fuerza o carga que resiste cada extremidad del can, se simplifica el sistema como se puede observar en el diagrama de cuerpo libre de la Figura 2, se consideró la masa real del can ( $m = 4.55 \text{ Kg}$ ) que luego fue necesario transformarle en peso ( $W$ ) multiplicando por la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

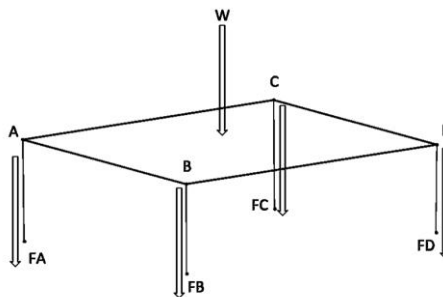


Figura 2: Diagrama de cuerpo libre (Urrutia Nogales, 2023)

$$W = m(g) \quad (1)$$

$$W = 4.55(9.81) \text{ N}$$

$$W = 44.64 \text{ N}$$

Con el valor del peso, se procedió a calcular el valor de la carga en cada extremidad; con  $W$  conocido se calculó el valor de  $FA$ ,  $FB$ ,  $FC$  y  $FD$

$$W = FA + FB + FC + FD \quad (2)$$

$$FA = FB = FC = FD \quad (3)$$

$$FA = \frac{W}{4} \quad (4)$$

$$FA = \frac{44.64}{4} = 11.16 \text{ N}$$

$$FA = FB = FC = FD = 11.16 \text{ N}$$

En la Tabla 1, se presenta las medidas tomadas al can, que nos sirvió para el cálculo y modelado de la prótesis.

Tabla 1: Medidas tomadas al can

Medidas recolectadas	
Altura / Peso:	21 cm / 4.54 kg
Altura codo-suelo:	10 cm
Largo del brazo:	7 cm
Largo del antebrazo:	9 cm
Angulo brazo-antebrazo:	90°
Espesor del brazo:	4.5 cm
Espesor del antebrazo:	2 cm
Ancho del brazo cerca al hombro:	4.05 cm

Medidas recolectadas	
Ancho del brazo cerca al codo:	3 cm
Ancho del antebrazo cerca al codo:	2.3 cm
Ancho del antebrazo cerca al muñón:	1.3 cm

### *Proceso de modelación con software asistido por computadora*

Con los datos de la Tabla 1, se procedió a la creación de la pieza en el software de dibujo asistido por computadora, como se muestran en la Figura 3, se utilizó el software especializado de ingeniería, se dio forma a la pieza que fue impresa posteriormente. Se tomó en cuenta el aspecto general además de los detalles que este debe mantener, tanto en las superficies internas y externas.

La pieza fue modelada considerando que mantenga una forma robusta, pero a la vez con la menor cantidad de material posible. Esto se logra al vaciar partes que no resulten útiles, además se mantuvo aristas redondeadas que ayudaron a la disminución de material.

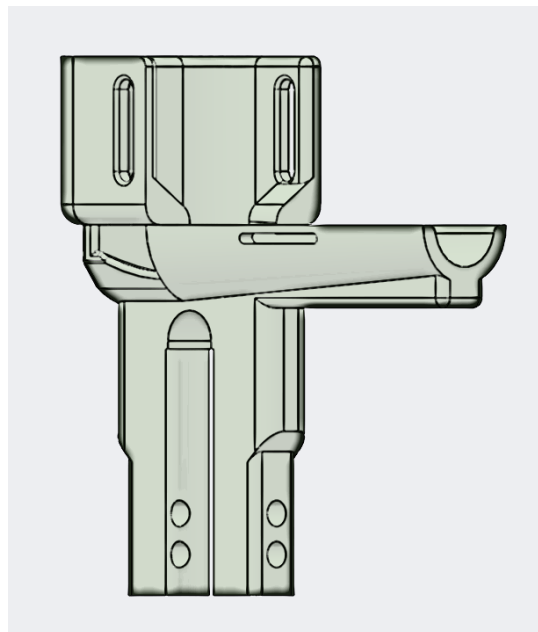


Figura 3: Vista isométrica delantera del prototipo de prótesis (Urrutia Nogales, 2023)

## 2.2 *Obtención de la prótesis mediante impresión 3D*

Primero modelamos el prototipo en un software especializado, con todas las especificaciones de diseño. Una vez comprobado los detalles se exporta del software de dibujo a uno que ajuste los parámetros de la impresora, como se observa en la Figura 4, donde se ingresaron parámetros como la temperatura de la cama de impresión, el relleno de la impresión, bases auxiliares, velocidad de impresión, número de capas, entre otras.

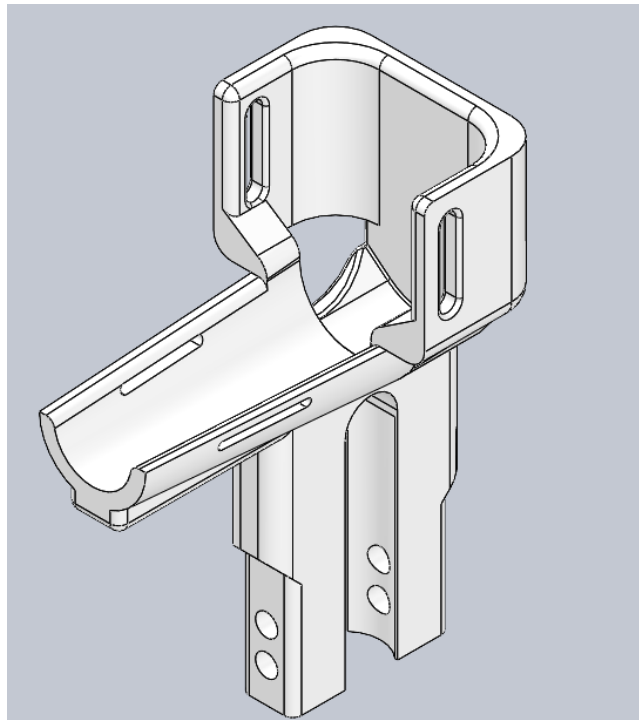


Figura 4: Modelado de prototipo en 3D (Urrutia Nogales, 2023)

Una vez comprobado los detalles, se exportó del software de dibujo al software de la impresora, como se observa en la Figura 5.

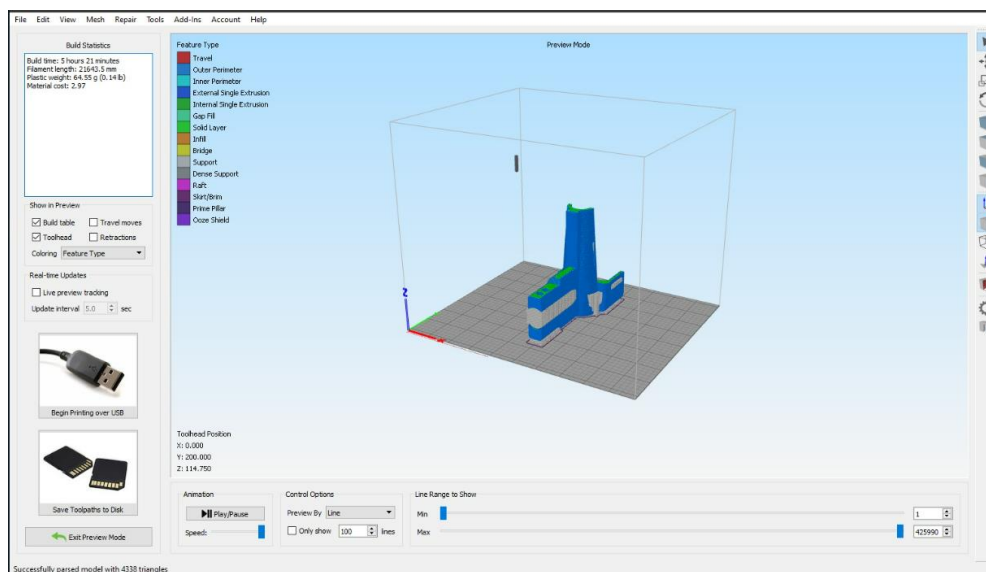


Figura 5: Modelo 3D exportado al programa de impresión (Urrutia Nogales, 2023)

### 2.3 Ensamblaje de los elementos

Una vez impresa la pieza se procedió con el ensamble de los elementos complementarios, como se observa en la Figura 6.



Figura 6: Prótesis ensamblada (Urrutia Nogales, 2023)

### 3. Resultados

Para comprobar la resistencia de la prótesis una vez diseñado, se realizó una simulación en un software especializado de ingeniería. Este tipo de programas permiten mediante la aplicación del método de elementos finitos, determinar si la prótesis es capaz de soportar las cargas aplicadas o generadas por la acción del can como se observa en la Figura 7.

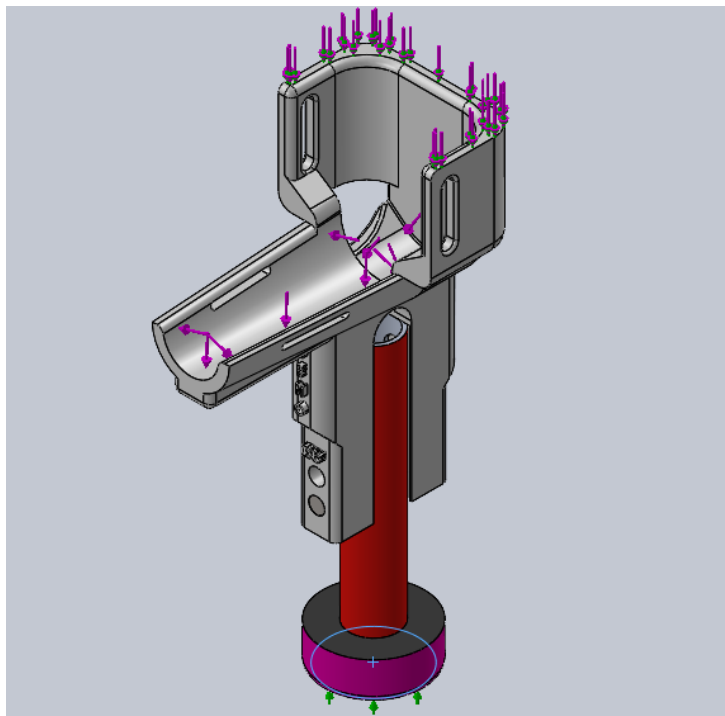


Figura 7: Aplicación de cargas (Urrutia Nogales, 2023)

Mediante el mallado y análisis del modelo como se muestra en la Figura 8 y aplicando la teoría de Von Mises (Budynas & Nisbett, 2018), que especifica que la fluencia no es un fenómeno debido a

cargas axiales simples, si no que más bien están relacionadas con la distorsión angular del elemento tensionado, se determinó que los esfuerzos generados no superan la resistencia del material utilizado como se representa en la Figura 9.

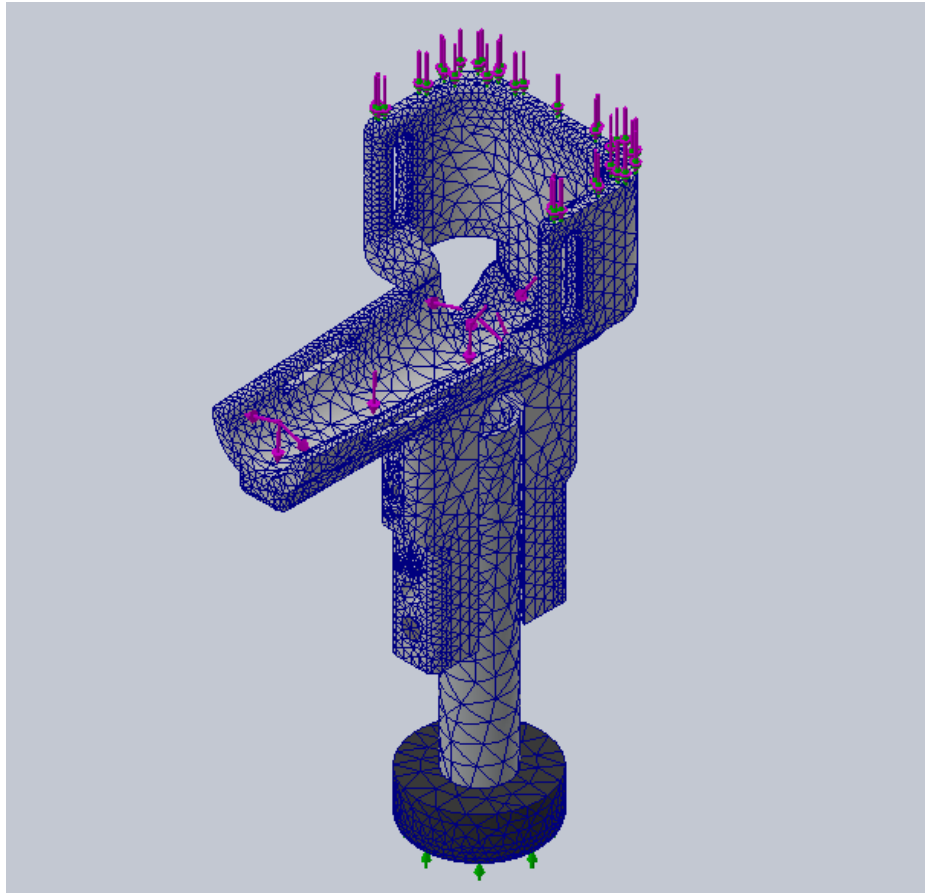


Figura 8: Mallado (Urrutia Nogales, 2023)

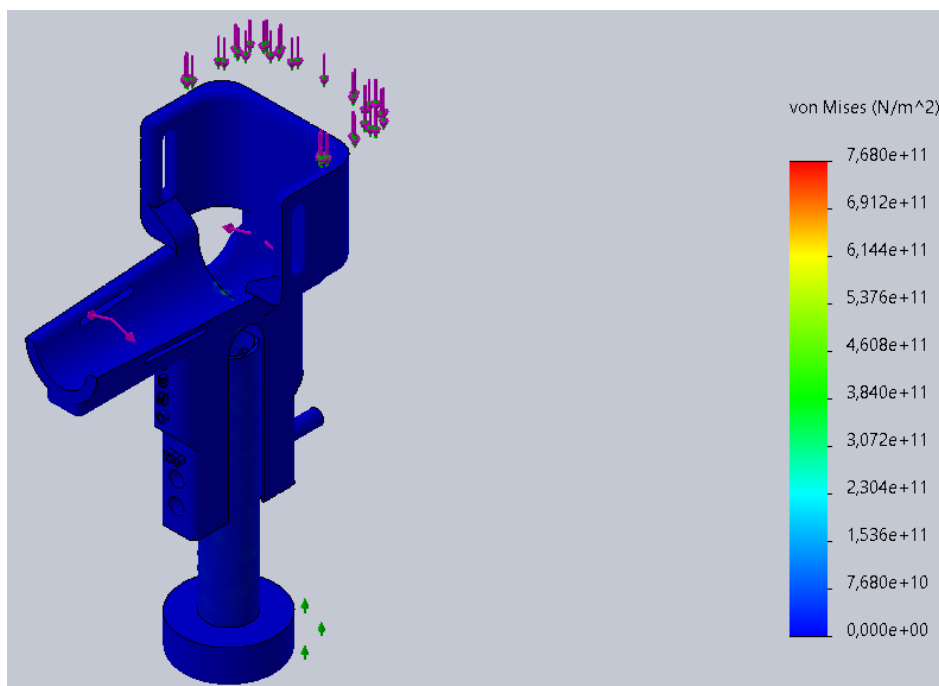


Figura 9: Análisis de tensiones (Von-Mises) (Urrutia Nogales, 2023)



Además, en la Figura 9, según la codificación de colores, se pudo determinar que en el material no se generan esfuerzos significativos y que las dimensiones y materiales utilizados se deben a la disponibilidad en el mercado.

Como resultado final se obtuvo una prótesis que resiste el propio peso del can y sobrecargas que pudiera existir debido al factor de seguridad de diseño, además se obtuvo un prototipo de prótesis funcional que fue adaptado al usuario, el mismo que le tomará un tiempo de adaptación hasta su correcto funcionamiento, como se puede observar en la Figura 10 y Figura 11.



Figura 10: Colocación prótesis al can (Urrutia Nogales, 2023)



Figura 11: Pruebas de funcionamiento (Urrutia Nogales, 2023)

#### 4. Discusión

Los resultados obtenidos mediante el diseño y construcción de la prótesis mediante impresión 3D fueron similares a los obtenidos por Acero (2019), quien obtuvo una prótesis por el mismo medio de manufactura para un can de mayor tamaño, utilizando fibra de carbono. De la

misma forma, el resultado es positivo para el can, el cual recuperó autonomía en su movimiento. Se mantuvieron aspectos ergonómicos para la comodidad y una ayuda en la realización de las actividades diarias. Esto demostró que es factible la obtención de prótesis por medio de la impresión 3D después de un correcto diseño, para animales que han sufrido algún tipo de amputación o mal formación.

## 5. Conclusiones

La tecnología de impresión 3D resultó conveniente para la fabricación de prótesis, ya que permite manufacturar piezas más detalladas con mayor facilidad.

La utilización del ABS como material para la impresión presentó resultados satisfactorios, ya que posee alta resistencia al impacto y una gran resistencia a las elongaciones como indica el fabricante.

La pieza impresa en 3D, superó las pruebas realizadas en el can, al no presentar interferencias en su funcionamiento.

La movilización del can con el prototipo de prótesis resultó dificultosa ya que, al llevar años con la amputación, este ha llevado una postura no natural y al implementarse el prototipo le obliga a regresar a una correcta posición, por este motivo no podrá caminar bien de manera inmediata, sino que llevará un tiempo de adaptación.

## Contribuciones de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus aportes en la siguiente matriz de contribuciones:

	<i>Espín, S.</i>	<i>Urrutia, E.</i>	<i>Guamanquispe, J.</i>	<i>Lascano, A.</i>	<i>Freire, D.</i>
<i>Conceptualización</i>					
<i>Análisis formal</i>					
<i>Investigación</i>					
<i>Metodología</i>					
<i>Recursos</i>					
<i>Validación</i>					
<i>Redacción-revisión y edición</i>					

## Conflicto de Interés

Los autores declaran que no existe ningún tipo de conflictos de intereses de ninguna naturaleza.

## Agradecimiento

Los autores, hacen un especial agradecimiento a la empresa Diseño y Construcciones Valencia (DICOVAL) de la ciudad de Ambato, Ecuador, por su colaboración y aporte.

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por su apoyo a la investigación.

## Referencias

- Acero, L. (2019). *Equal prótesis semi-personalizada para perros en impresión 3D y fibra de carbono*. Universidad El Bosque. Bogotá: Universidad El Bosque. Recuperado el 26 de 04 de 2022, de <http://hdl.handle.net/20.500.12495/2452>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. (2018). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (10 ed.). México: Edamsa Impresiones, S.A. de C.V.
- Fernández Sarmiento, J. (2004). Amputación de miembros torácico y pélvico en perro. Córdova: Universidad de Córdova. Recuperado de [http://www.uco.es/organiza/departamentos/anatomia-y-anatopatologica/peques/curso01\\_05/amputacion.pdf](http://www.uco.es/organiza/departamentos/anatomia-y-anatopatologica/peques/curso01_05/amputacion.pdf)
- Ghosh, S., Hussain, R., Murthy, G., Khawade, Y., & Singh, S. (2019). *Digital transformation and 3D printing of transtibial load-bearing prosthesis in India: recent advances, challenges and future perspectives*. Bengaluru, India: Pinakin Virtual Studios. [04-2019] <https://www.futuremedicine.com/doi/10.2217/3dp-2019-0013>
- Llerena, J., Barberan, M., & Chela, J. (2020). *Novus spem, 3D printing of upper limb prosthesis and geolocation mobile application*. Lisboa, Portugal: RISTI [04-2022], <https://pure.ups.edu.ec/en/publications/novus-spem-3d-printing-of-upper-limb-prosthesis-and-geolocation-m>
- Martí Borja, S. (2019). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de Repositorio UPV: <https://riunet.upv.es/handle/10251/128491>
- Quintana, G. (2022). Las mascotas también se pueden beneficiar de las prótesis en impresión 3D. Ambato, Tungurahua, Ecuador. Obtenido de EL UNIVERSO. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/larevista/disenio/las-mascotas-tambien-se-pueden-beneficiar-de-las-protesis-3d-nota/>
- Rosas Osuna, S. R. (2016). *Academia Nacional de Medicina*. Obtenido de Repositorio ANMM: [https://anmm.org.mx/publicaciones/ultimas\\_publicaciones/Rehabilitacion.pdf#page=47](https://anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/Rehabilitacion.pdf#page=47)
- Torres, K. (2019). Prótesis de animales, un mercado naciente en Ecuador. pág. 2. [04-2022], Recuperado de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/protesisdeanimales-mercado-ecuador>
- Urrutia Nogales, E. O. (2023). *Diseño y construcción de un prototipo de prótesis de pata de perro, con amputación de extremidad delantera cercana al codo, producida mediante impresión 3d para la empresa dico-val ubicada en la ciudad de Ambato*. Ambato: Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato.
- Valverde Rojas, P. D. (2016). *Repositorio UDLA DSPACE UDLA*. Recuperado de <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/6489/1/UDLA-EC-TDGI-2016-27.pdf>
- Zapata Saavedra, M. L. (11 de 09 de 2017). *Diseño y desarrollo de un prototipo de prótesis en impresión 3D aplicado en medicina veterinaria para pequeñas especies*. [10-2022], Recuperado de [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11716/1/DE00012\\_TRABAJODETITULACION.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11716/1/DE00012_TRABAJODETITULACION.pdf)