

## CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS CANINA MEDIANTE INGENIERÍA INVERSA IMPRESIÓN 3D

Edison Javier Segovia Corrales  
ejsegoviac@istx.edu.ec  
Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Gonzalo Daniel Ruiz Mesías  
gdruizm@istx.edu.ec  
Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Manuel Edmundo Llango Pullotasig  
mellangop@istx.edu.ec  
Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Recibido: 17/05/22  
Aceptado: 10/06/22  
Publicado: 01/07/22

### RESUMEN

Con el pasar de los años, se observa que la vida, tanto de un humano como de un animal, después de perder una extremidad o incluso haber nacido sin esta, resulta ser más complicada. Para solucionar esta problemática, los humanos determinaron una solución que conlleva a las creaciones de prótesis que suplantando la extremidad faltante. Al igual que a los humanos, las prótesis para animales también tienen su desarrollo. Todo esto con una complejidad, debido a que dichas prótesis, tanto para humanos como para animales son costosas y muy pocos tienen recursos para la obtención de una prótesis. Por esta cuestión, la investigación se basó en ayudar a un perro que se encontraba en la necesidad de una prótesis. De esta manera, se aplicaron conocimientos adquiridos para mejorar la calidad de vida del canino. Para la construcción de la prótesis se emplearon distintos programas como *SolidWorks*, que interviene en el diseño de cada pieza, el software *3D Systems Sense*, aplicado para el escaneo y el software *Z-Suite*, utilizado para realizar el proceso de impresión 3D.

**PALABRAS CLAVE:** escaneo, prótesis, canino, diseño, impresión 3D.

## CONSTRUCTION OF A CANINE PROSTHESIS BY REVERSE ENGINEERING 3D PRINTING

### ABSTRACT

Over the years, it has been observed that life, both for humans and animals, after losing a limb or even being born without it, has become more complicated. To solve this problem, humans determined a solution that leads to the creation of prostheses that replace the missing limb. As with humans, prostheses for animals also have their development. All this with a complexity, because such prostheses, both for humans and animals are expensive and very few have the resources to obtain a prosthesis. For this reason, the research was based on helping a dog that was in need of a prosthesis. In this way, acquired knowledge was applied to improve the canine's quality of life. For the construction of the prosthesis, different programs were used, such as SolidWorks, which is involved in the design of each part, 3D Systems Sense software, applied for scanning, and Z-Suite software, used to carry out the 3D printing process.

**KEY WORDS:** scanning, prosthesis, canine, design, 3D printing.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología, la humanidad ha encontrado distintas maneras para solucionar la ausencia de una extremidad. Estas soluciones han sido tanto físicas como mentales. La creación de prótesis o terapias ayudan a disminuir el impacto que la falta de una extremidad causa. Al igual que los humanos, los animales también presentan impactos de igual magnitud o incluso mayores, ya que para ellos les es difícil encontrar una solución por su propia cuenta. Este proyecto se centra en animales domésticos, especialmente los caninos.

Las causas que pueden llevar a un perro a no poseer sus extremidades son múltiples. Este puede presentar la ausencia de una de sus extremidades debido a accidentes, genética o incluso puede haber sido sometido a una amputación por causas médicas. Las consecuencias que generan pueden ser similares: en la mayor parte de casos presentados, los canes han sido abandonados o, en un caso extremo, sacrificados.

No todos los dueños de estos animales toman la opción de conservarlos y ayudarlos con la obtención de una prótesis. La pequeña población de estos dueños tiene que lidiar ahora con la poca existencia de prótesis, además del precio que estas poseen. Debido a que no es un tema de gran amplitud, aquí parte la idea de la construcción de una prótesis canina mediante ingeniería inversa impresión 3D. La construcción de esta prótesis se da con el estudio de la osteología canina e implementación de aplicaciones como el software *SolidWorks*, y equipos como la impresora *Zortrax M200* y el escáner *3D Sense 2*.

## 2. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS / MATERIALES Y MÉTODOS

### Estrategias Metodológicas

**Recopilación de información.** Se realizó una revisión exhaustiva de documentación científica y técnica relacionada con la construcción de prótesis caninas, ingeniería inversa e impresión 3D para obtener una base sólida de conocimientos previos.

**Diseño asistido por ordenador (CAD).** Se utilizó un software de diseño asistido por ordenador para crear un modelo 3D preciso de la anatomía y estructura de la extremidad afectada del perro, garantizando la adaptación y funcionalidad de la prótesis.

**Ingeniería inversa.** Se usaron técnicas de escaneo tridimensional para obtener un modelo digital de la extremidad afectada del perro, permitiendo la reproducción exacta de la forma y dimensiones necesarias para la prótesis.

**Optimización del diseño.** Se aplicaron técnicas de simulación y análisis estructural para optimizar el diseño de la prótesis, asegurando su resistencia, durabilidad y funcionalidad adecuada.

**Impresión 3D.** Se utilizó una impresora 3D con materiales biocompatibles para fabricar la prótesis canina de acuerdo con el diseño previamente elaborado, garantizando la precisión y calidad del resultado final.

**Pruebas y ajustes.** Se realizaron pruebas exhaustivas de la prótesis impresa en el perro, evaluando su adaptación, comodidad, movilidad y funcionalidad y realizar los ajustes necesarios para lograr un ajuste óptimo.

**Evaluación clínica.** Se realizó un seguimiento clínico del perro con la prótesis, evaluando su capacidad de caminar, correr y llevar una vida normal, así como monitorear su bienestar y calidad de vida a largo plazo.

## **Materiales y Métodos**

**Equipo de escaneo tridimensional.** Se utilizó un escáner tridimensional de alta precisión para obtener datos digitales precisos de la extremidad afectada del perro.

**Software de diseño asistido por ordenador (CAD).** Se utilizó software especializado en diseño 3D para crear el modelo digital de la prótesis canina, teniendo en cuenta la anatomía y características específicas del perro.

**Impresora 3D.** Se utilizó una impresora 3D con capacidad de imprimir en materiales biocompatibles y de alta resistencia, como el polímero PLA o el poliuretano, para fabricar la prótesis canina.

**Materiales biocompatibles.** Se utilizaron materiales certificados como biocompatibles y seguros para la fabricación de la prótesis, asegurando que no haya reacciones adversas en el perro.

**Pruebas y ajustes.** Se realizaron pruebas de ajuste y funcionalidad de la prótesis en el perro y los ajustes necesarios en el diseño y la fabricación para lograr un resultado óptimo.

**Evaluación clínica.** Se realizaron evaluaciones clínicas periódicas del perro con la prótesis, registrando parámetros como la capacidad de caminar, el grado de movilidad y la adaptación a la prótesis.

## **3. RESULTADOS**

### **Visita al sujeto prueba**

El paso principal y fundamental fue la visita realizada al sujeto prueba o canino al que se le va a realizar la prótesis. Esto con la finalidad de conocer la raza, las medidas y analizar la parte faltante del animal. Con lo antes mencionado, se determina que el sujeto prueba es de raza mestiza, de una estatura mediana 38 cm de altura con un peso de 28 kilos. La perra tiene una edad de 7 años; hace 1 año aproximadamente tuvo que someterse a cirugía que le amputó la extremidad trasera del lado derecho.

**Figura 1**

*Sujeto de prueba: raza mestiza, edad 7 años.*



*Fuente: autoría propia 2022.*

**Selección del tipo de prótesis**

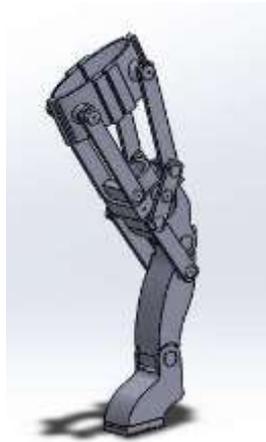
Para determinar el tipo de prótesis a diseñar, se realiza la visita al sujeto prueba. Existen distintos tipos de prótesis que pueden ser realizadas mediante ingeniería inversa. Los factores a tener en cuenta para un modelo de prótesis son el tipo de función a realizar y las partes a sustituir. Por esta razón, se opta por una prótesis de extremidades.

Entre las prótesis de extremidades más conocidas se encuentran las prótesis articuladas, de apoyo y de reacción. Las prótesis de apoyo son modelos fijos que no tienen movilidad, como su nombre lo indica, sirven como apoyo al canino; su aplicación se da en casos que la parte amputada sea lo más cercana al cuerpo. Las prótesis de reacción son prótesis que impulsan al canino, que reaccionan con el peso del mismo; al igual que la anterior, su forma física es estática y no posee movilidad. La prótesis articulada es un tipo de prótesis que posee movimiento controlado por el canino portador de la prótesis; a diferencia de las anteriores, su estructura dispone de muchas más partes.

Una vez analizadoss los tipos de prótesis, el prototipo a diseñar se centra en la prótesis de extremidades articuladas. Esto debido a que el sujeto prueba contiene parte de la tibia y si se realiza un diseño fijo, el canino no va a poder mover la extremidad. Al poseer una parte de la tibia, permite que la prótesis articulada pueda moverse a voluntad del sujeto prueba, es decir, este tipo de prótesis resulta ser más eficiente para el canino.

## Figura 2

Diseño de la prótesis articulada.



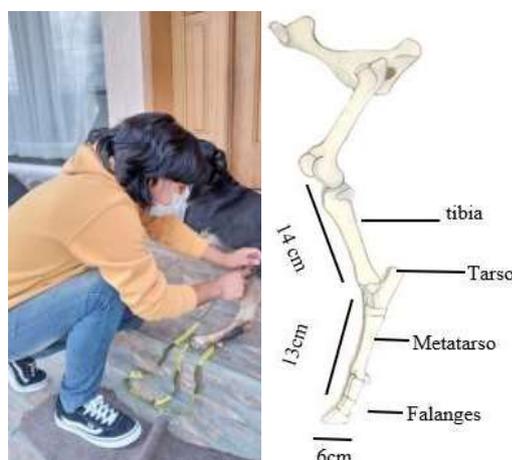
Fuente: autoría propia 2022.

## Toma de medidas

Para realizar la prótesis, se procedió a la toma de medidas o dimensiones de la extremidad faltante del canino. Esto para obtener las dimensiones de la prótesis, como son el largo y ancho de la pierna y el pie, al igual que las falanges. La toma de dimensiones se realiza con la ayuda de una cinta métrica, específicamente, la que se utiliza en el ámbito de la costura. Para tener una referencia sobre las medidas, se toma en cuenta la pata par que sí posee el sujeto prueba.

## Figura 3

Toma de medidas para la elaboración de la prótesis.



Fuente: autoría propia 2022.

## Selección del filamento

Para determinar el material que se utiliza en la fabricación de la prótesis se realizó el estudio y análisis de las condiciones físicas a las que va a ser sometida. Es

Segovia, E., Ruiz, G., y Llango, M. (2022). *Construcción de una prótesis canina mediante ingeniería inversa impresión 3D*. Revista Cotopaxi Tech, 2(2), pp. 89-100.

<http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/96>

Julio - diciembre (2022)

ISSN 2806-5573

decir, el esfuerzo que tiene que realizar, peso a soportar, condiciones climáticas y de terreno. Además de tener en cuenta las características físicas y mecánicas, también es fundamental saber si es compatible con la impresora 3D que se va a utilizar en la fabricación. En este caso se utiliza la impresora *Zortrax M200* que es compatible con materiales ABS, GLASS, HIPS, PCABS, PETG, ULTRAT, ESD, PLA Pro, ASA Pro. Con esto, se posee una lista con los posibles filamentos a utilizar.

Otro de los factores a tener en cuenta en la selección del filamento es la disponibilidad comercial de este. Entre los filamentos de comercialización más comunes, además de disponibles en la plataforma Mercado libre, se encuentran los filamentos PLA, ABS, TPU y PETG. Dado a que el filamento TPU no es compatible con la impresora a utilizar, su uso se descarta completamente. Se realiza un cuadro comparativo con las características, tanto físicas como mecánicas, de los filamentos PLA, ABS y PETG. Como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

*Características mecánicas de los filamentos.*

Característica	PLA	ABS	PETG
Densidad	1.24 g/cm <sup>3</sup>	1.02 g/cm <sup>3</sup>	1.27 g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción	3309 MPa	35-50 MPa	50MPa
Resistencia a la flexión	485 kg/ cm <sup>2</sup>	509 kg/cm <sup>2</sup>	700Kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura de deformación	55°C	90-105°C	85°C

Fuente: Impresoras3D.com, 2022.

Una vez analizado el cuadro comparativo de la Tabla 1, las características mecánicas y cada uno de los filamentos se puede analizar lo siguiente:

**Peso.** La diferencia de densidad que existe entre los tres tipos de filamentos es muy poca.

**Resistencia.** Si la función de la pieza a fabricar requiere de una alta resistencia a la tracción, técnicamente el uso del filamento PLA es obligatorio, sin embargo, el filamento PETG posee una mayor adhesión entre capas, es mucho más difícil que este se rompa.

En caso que la pieza fabricada vaya a estar expuesta al exterior, el filamento PLA no es el más recomendable, debido a que, bajo condiciones de calor, frío, lluvia o alta radiación solar la pieza tiende a deteriorarse rápidamente. De igual manera, el filamento ABS, a pesar de ser el más utilizado, su única desventaja que lo hace inutilizable ante este proyecto es que no soporta la radiación ultravioleta.

En conclusión, los filamentos PLA y ABS, a pesar de poseer buenas características tanto físicas como mecánicas, no pueden ser aplicados para

Segovia, E., Ruiz, G., y Llango, M. (2022). *Construcción de una prótesis canina mediante ingeniería inversa impresión 3D*. Revista Cotopaxi Tech, 2(2), pp. 89-100.

<http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/96>

Julio - diciembre (2022)

ISSN 2806-5573

construcción de piezas en exteriores, en comparación con el filamento PETG. Este último posee características físicas y mecánicas aceptables que lo hacen apto para ser implementado en este proyecto. En este sentido, el filamento PETG sí es apto para las condiciones climáticas a las que va a ser sometido.

En la mayor parte de los casos en los que se implementan filamento, el color va acorde a la pieza o su función a realizar. En este caso, los colores escogidos para cada una de las piezas son blanco, negro y gris, que se asemeja al color del pelaje del canino. Esto puede ser considerado como un tema estético.

#### **Figura 4**

*Filamento PETG.*



*Fuente: 3D Natives, 2022.*

#### **Diseño de las partes de la prótesis**

Existen distintos tipos de programas de diseño, ensamblaje y simulación de piezas en tres dimensiones, como el software *AutoCAD*, *Autodesk Maya*, *Cinema 4D*, *Modo*, *SolidWorks*, etc. Para este proyecto se hizo uso del software *SolidWorks*, que consta de distintas herramientas para realizar piezas en tres dimensiones; además, ayuda a determinar las medidas, peso y material de las piezas diseñadas. Con el uso de este software, también se realizan planos, en que cuales se encuentran plasmadas las características de cada pieza.

Para el diseño de las partes de la prótesis, es indispensable saber qué componentes son los que conforman la prótesis, al igual que sus medidas o dimensiones. Este último dato se obtiene con la visita realizada al sujeto prueba. Una vez determinadas las partes y las medidas se hace uso del software *SolidWorks* para el diseño tridimensional de las mismas.

La prótesis está constituida por un sujetador que permitirá a la prótesis mantenerse unida al cuerpo del animal y está conformada por tres piezas que son el acople, porta acople y la pierna. Las dos últimas fueron diseñadas en el software

*SolidWorks*, a diferencia de la primera que es el resultado de un proceso de escaneo en tres dimensiones, realizado con la implementación de un escáner 3D.

### Figura 5

*Pieza escaneada.*

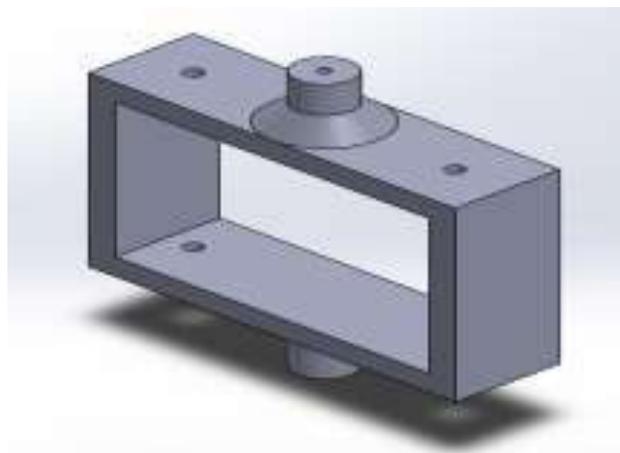


Fuente: autoría propia, 2022.

El sistema que da movimiento a la prótesis, denominado sistema articulado, consta de cuatro barras unidas a los extremos del sujetador; dos de estas unidas del otro extremo a la pieza denominada pierna y las dos restantes unidas a dos barras de movimiento. La pierna en su parte superior posee 4 perforaciones que permitirán sujetar la pieza denominada porta barras.

### Figura 6

*Porta barras.*

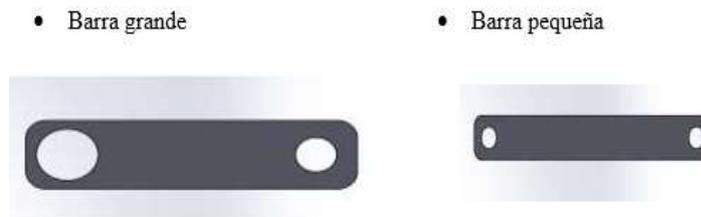


Fuente: autoría propia, 2022.

Las barras que dan el movimiento se dividen en dos tipos: grandes y pequeñas. Las barras grandes se sitúan desde el sujetador hasta un extremo de la barra de movimiento y las pequeñas se sitúan desde el otro extremo de la barra de movimiento hasta la pieza que reemplaza el pie.

**Figura 7**

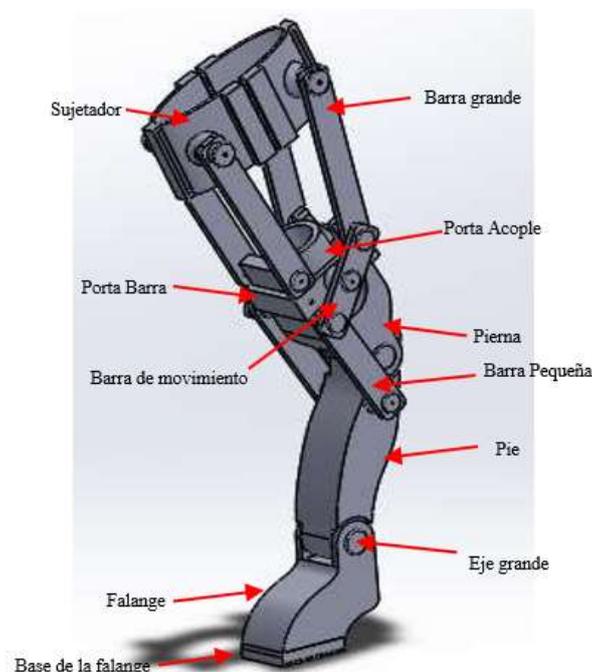
Barra grande y barra pequeña.



Las otras piezas que conforman la prótesis son el pie y las falanges. El diseño del pie se asemeja al hueso al que va a sustituir dicha pieza para así mantener estéticamente los rasgos de similares a una pata canina. Este es un diseño compacto que consta de dos piezas: una que sustituye a dichos huesos y otra que es completamente cambiabile, con una textura áspera que impide que el canino resbale al momento de caminar o correr.

**Figura 8**

Partes de la prótesis canina.



Fuente: autoría propia, 2022.

**4. DISCUSIÓN**

Los estudios realizados permiten determinar un tipo de prótesis que se ajusta a las necesidades y requerimientos del portador, con la finalidad de mejorar la calidad de vida del sujeto prueba, además de evitar a que existan problemas futuros como presentar una falla en la columna. El correcto funcionamiento de la

Segovia, E., Ruiz, G., y Llango, M. (2022). *Construcción de una prótesis canina mediante ingeniería inversa impresión 3D*. Revista Cotopaxi Tech, 2(2), pp. 89-100.

<http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/96>

Julio - diciembre (2022)

ISSN 2806-5573

prótesis es fundamental para el sujeto prueba, ya que, si esta presenta fallas además de no funcionar correctamente, puede causar un daño mayor al portador, pues este tendría que realizar un doble esfuerzo.

Es importante saber que el canino al que se le va a realizar la prótesis tiene que pasar por dos etapas, la de aceptación y la de adaptación, esta última se divide en adaptación inicial y adaptación final. La etapa de aceptación es cuando el canino acepta positivamente el usar una prótesis, es decir no se incomoda al momento de colocarle la misma. La etapa de adaptación inicial es cuando el canino ejerce un apoyo en la prótesis y trata de dar sus primeros pasos; si el uso de la prótesis es constante y el canino realiza la marcha canina con más facilidad se llega a la adaptación final.

## 5. CONCLUSIONES / CONSIDERACIONES FINALES

Existen distintos tipos de filamentos que se pueden utilizar en una impresora 3D. Entre los filamentos que son compatibles con la mayor parte de impresoras se encuentran los filamentos PLA, ABS y PETG, además, son filamentos que poseen buenas características tanto físicas como mecánicas.

Con la variedad de modelos de prótesis existentes, se puede definir un solo modelo que se ajuste a las necesidades del canino portador. El modelo puede variar entre ser de una estructura articulable o fija. Este último, dependiendo del caso a implementar, puede ser de apoyo o de reacción.

El programa de *SolidWorks* es un software que ofrece un amplio conjunto de herramientas que ayudan a realizar un modelo tridimensional, definiendo su composición, peso y dimensiones. Estas mismas características se plasman en un plano 2D de la pieza o modelo diseñado.

Se recomienda realizar una correcta selección del material que se va a utilizar para construir la prótesis, con la finalidad de evitar un problema mayor en la extremidad amputada, debido a problemas en su funcionamiento. Por ello, es indispensable responder a las siguientes interrogantes: ¿Qué función va a realizar?, ¿a qué esfuerzos va a ser sometido? Y ¿en qué entorno se va a encontrar situado?

## 6. REFERENCIAS

3D, I. (23 de Agosto de 2022). Impresoras 3D. <https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d/>

Natives, 3. (17 de Enero de 2023). 3d Natives. <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

Ariza Martínez, S. (2018). *Comportamiento mecánico de la prótesis parcial fija en disilicato de litio sobre pilares con periodonto normal y disminuido: análisis de elementos finitos. Fase modelamiento. Especialización en prostodoncia.*

Segovia, E., Ruiz, G., y Llango, M. (2022). *Construcción de una prótesis canina mediante ingeniería inversa impresión 3D.* Revista Cotopaxi Tech, 2(2), pp. 89-100.

<http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/96>

Julio - diciembre (2022)

ISSN 2806-5573

De Jesús García-Velázquez, E., López-Miranda, E.-G., Tinoco-Varela, D., y Cruz-Morales, R.-D. (s/f). *Control difuso para la mimetización del movimiento de un prototipo de prótesis de una extremidad canina*. Ipn.mx. [https://rcs.cic.ipn.mx/rcs/2022\\_151\\_8/Control%20difuso%20para%20la%20mimetizacion%20del%20movimiento%20de%20un%20prototipo%20de%200protesis.pdf](https://rcs.cic.ipn.mx/rcs/2022_151_8/Control%20difuso%20para%20la%20mimetizacion%20del%20movimiento%20de%20un%20prototipo%20de%200protesis.pdf)

Jiménez, P., y Ángel, M. (2017). *Diseño de una prótesis canina para extremidades delanteras*.

Montesdeoca, A., y Flavio, E. (2021). *Diseño de un prototipo de prótesis canina para extremidades delanteras*. Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica.

Zúñiga, F., y Nicolás, G. (2020). *Diseño de prótesis canina de extremidad trasera*. Universitat Politècnica de Catalunya.