

**Caracterización y modelado de órtesis para caninos con discapacidad en extremidades  
anteriores**

**Emerson Otálora Díaz**

**Universidad de Boyacá  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Programa Ingeniería Mecatrónica  
Tunja  
2022**

**Caracterización y modelado de órtesis para caninos con discapacidad en extremidades  
anteriores**

**Emerson Otálora Díaz**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**Director:**

**Ph. D. Ciencias de la Educación  
Nairo José Cavieles Rojas**

**Codirector**

**Mg. C. Metalurgia y Ciencias de los Materiales  
Yeison Daniel Molina Monsalve**

**Universidad de Boyacá  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Programa Ingeniería Mecatrónica  
Tunja  
2022**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.  
(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

A la vida por permitirme llegar a la culminación de esta meta, que a pesar de los momentos difíciles siempre logre triunfar y avanzar en cada etapa, a mis padres por acompañarme en cada momento por su apoyo y colaboración, a mi hermano y hermanas que siempre me apoyaron y guiaron para obtener este triunfo y a mi compañera de camino, mi perrita Mikaela que me brinda todos los días su amor incondicional.

*Emerson*

### **Agradecimientos**

A la Universidad de Boyacá, Facultad de Ciencias e ingeniería, Programa de Ingeniería Mecatrónica, que me brindo el espacio y el tiempo para formarme como profesional íntegro y humano.

A todas las personas que de un modo u otro contribuyeron a mi crecimiento profesional y personal mediante acciones de corrección, amor y apoyo.

**Contenido**

|  | Pág. |
|--|------|
| Introducción.....  | 18   |
| Características de órtesis para rehabilitación de caninos mediante análisis documental.....                                      | 20   |
| Modelo de órtesis funcional para rehabilitación de caninos, a partir de la evaluación de la documentación recopilada.....        | 26   |
| Ajuste de modelo diseñado a partir de los resultados de su evaluación, para optimizarlo mediante estrategias computarizadas..... | 45   |
| Conclusiones.....  | 54   |
| Recomendaciones.....   | 55   |
| Referencias.....   | 56   |
| Anexos.....  | 60   |

**Lista de tablas**

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Características de órtesis canina .....                    | 20   |
| Tabla 2. Beneficios según las necesidades de la órtesis canina..... | 22   |

**Lista de figuras**

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Sistemas anatómicos de un can .....                     | 25   |
| Figura 2. Tipos de órtesis canina para miembros inferiores .....  | 29   |
| Figura 3. Paciente Kima.....                                      | 31   |
| Figura 4. Ejemplo de diseño en programa Sketchbook Designer ..... | 31   |
| Figura 5. Proceso del diseño Solidworks.....                      | 33   |
| Figura 6. Ejemplo de modelado 3d Blender .....                    | 33   |
| Figura 7. Primer diseño de órtesis.....                           | 34   |
| Figura 8. Segundo modelo de órtesis.....                          | 35   |
| Figura 9. Segundo modelo de órtesis prototipo móvil.....          | 35   |
| Figura 10. Modelo de canino en 3D.....                            | 36   |
| Figura 11. Diseño de modelo canino Armor con Blender .....        | 37   |
| Figura 12. Diseño canino con Armor.....                           | 37   |
| Figura 13. Movimientos de prueba canino .....                     | 38   |
| Figura 14. Simulación de movimiento.....                          | 38   |
| Figura 15. Simulación de caminata.....                            | 39   |
| Figura 16. Movimiento de la órtesis .....                         | 40   |
| Figura 17. Ensamblaje de órtesis .....                            | 41   |
| Figura 18. Simulación de movimiento acostado.....                 | 42   |
| Figura 19. Simulación de movimientos canino.....                  | 42   |
| Figura 20. Diseño de órtesis.....                                 | 44   |
| Figura 21. Eje de transmisión .....                               | 45   |
| Figura 22. Diseño de eje de transmisión para la órtesis.....      | 45   |
| Figura 23. (A) Unión de los ejes y (B) Motores laterales.....     | 46   |
| Figura 24. Diseño Placa .....                                     | 47   |
| Figura 25. Proceso de adaptación de placa electrónica.....        | 47   |
| Figura 26. Proceso de adaptación de placa electrónica.....        | 48   |
| Figura 27. Motores nema 17 y nema 23 .....                        | 49   |
| Figura 28. Modelo de elementos finitos de la órtesis .....        | 50   |
| Figura 29. Deformaciones esperadas del modelo .....               | 50   |

Figura 30. Estudio de elementos finitos pieza de Unión ..... 51

Figura 31. Deformación Máxima..... 52

Figura 32. Estudio de fuerza ..... 52

**Lista de Anexos**

|                             | Pág. |
|-----------------------------|------|
| Anexo A. Anteproyecto ..... | 60   |

## Glosario

***Eutanasia:*** la eutanasia animal, del griego "buena muerte" es el acto de permitir la muerte mediante la supresión de medidas médicas extremas y/o aplicar la muerte indolora a un animal que sufre una situación penosa o una enfermedad agónica o incurable o de difícil recuperación, los métodos de eutanasia están diseñados para causar el mínimo dolor y estrés (Platas, 2020).

***Fractura:*** fractura completa o parcial de un hueso, las causas de las fracturas de hueso pueden ser los traumatismos, el uso excesivo y las enfermedades que debilitan los huesos y el síntoma principal es el dolor (Platas, 2020).

***Órtesis (dispositivo / producto ortésico):*** dispositivo aplicado externamente que se utiliza para modificar las características estructurales y funcionales de los sistemas neuromuscular y esquelético (plural: órtesis). Los ejemplos más comunes son los aparatos ortopédicos para el tobillo, las férulas para la muñeca, las órtesis de tobillo y pie, el calzado personalizado y las órtesis lumbosacras (Aoife et al., 2018). Las órtesis son un apoyo u otro dispositivo externo aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético. Se pueden caracterizar principalmente por ser utilizadas en períodos de rehabilitación de lesiones, brindan funcionalidad, confort y restringen o refuerzan determinados movimientos (Sabater, 2019).

***Prótesis (dispositivo / producto protésico):*** dispositivo de aplicación externa que se utiliza para reemplazar total o parcialmente un segmento de la extremidad ausente o deficiente (plural: prótesis). Ejemplos comunes son las prótesis transtibiales y transfemorales para el miembro inferior y las prótesis transradiales o transhumerales para el miembro superior (Aoife et al., 2018), una prótesis es una extensión artificial que reemplaza o provee una parte del cuerpo que falta por diversas causas, bien por culpa de una amputación o por agenesia, intentando cumplir las mismas funciones que la parte perdida. Estas funciones no solo han de ser funcionales, como bien pueda ser el apoyo que proporciona una prótesis de pierna, también se

pretende la recuperación de una cierta estética ya que la pérdida de un miembro puede repercutir psicológicamente en los pacientes (Sabater, 2019).

**Rehabilitación:** en las ciencias de la salud, la rehabilitación se define, según la organización mundial de la salud, como «el conjunto de medidas sociales, educativas y profesionales destinadas a restituir al sujeto en situación de discapacidad la mayor capacidad e independencia posibles» y como parte de la asistencia médica encargada de desarrollar las capacidades funcionales y psicológicas del individuo y activar sus mecanismos de compensación, a fin de permitirle llevar una existencia autónoma y dinámica (Platas, 2020).

**Traumatismo:** un traumatismo es una situación con daño físico al cuerpo. En medicina, sin embargo, se identifica por lo general como paciente traumatizado a alguien que ha sufrido heridas serias que ponen en riesgo su vida y que pueden resultar en complicaciones secundarias tales como shock, paro respiratorio y muerte (Platas, 2020).

## Resumen

### **Caracterización y modelado de órtesis para caninos con discapacidad en extremidades anteriores.**

La ortopedia para perros es una especialización veterinaria muy específica y, hasta hace poco tiempo, relativamente cara al ser elementos que deben hacerse a medida, sin embargo, en los últimos años se ha producido un avance significativo en las técnicas y materiales y eso ha permitido una reducción de los costos, cada solución protésica está diseñada única y específicamente para cumplir con las metas terapéuticas prescritas por lo tanto se determinaron las características que debe tener una órtesis para rehabilitación de caninos mediante análisis documental, se diseñó un modelo de órtesis funcional para rehabilitación de caninos, a partir de la evaluación de la documentación recopilada y finalmente se ajustó el modelo diseñado a partir de los resultados de su evaluación, para optimizarlo mediante estrategias computarizadas.

El objetivo general de este trabajo fue modelar una órtesis mediante software y herramientas de diseño, para el uso o rehabilitación progresiva en caninos de raza mediana con discapacidad en extremidades anteriores.

Se realizó la búsqueda de información bibliográfica de la anatomía y funcionamiento de los músculos y huesos de los caninos, además se revisaron los diferentes tipos de órtesis para la rehabilitación y las causas más usuales para el uso de una de ellas, en la revisión se denota que la órtesis debe tener las siguientes características para ser óptima: Comodidad: referida al bienestar físico que proporciona el uso de la órtesis, como lo es la seguridad, la fácil montura, resistente al agua, con pesos ligero, funcional, ajustable, transpirable, de fácil limpieza y estética, se usaron los programas SolidWorks y Blender para hacer el diseño del prototipo final.

Mediante la recolección de información respecto a las características de una órtesis se obtuvo el diseño funcional para un paciente canino, el cual fue creado mediante el diseño asistido por computadora para obtener detalladamente un modelo de órtesis, a este se le incorpora la placa electrónica con distintos módulos como el elevador de potencia y el módulo Relé para la

activación de los motores los cuales realizaran el cambio de movimientos que va a realizar el canino.

**Palabras clave:** Órtesis, Rehabilitación, Ingeniería, Diseño

### **Abstract**

#### **Characterization and modeling of orthoses for canines with disabilities in forelimbs.**

Orthopedics for dogs is a very specific veterinary specialization and, until recently, relatively expensive as they are elements that must be made to measure, however, in recent years there has been a significant advance in techniques and materials and that has allowed a reduction in costs, each prosthetic solution is uniquely and specifically designed to meet the prescribed therapeutic goals, therefore, the characteristics that an orthosis for canine rehabilitation should have were determined through documentary analysis, a functional orthosis model for rehabilitation was designed of canines, from the evaluation of the collected documentation and finally the model designed from the results of its evaluation was adjusted, to optimize it through computerized strategies.

The general objective of this work was to model an orthosis using software and design tools, for use or progressive rehabilitation in medium-sized canines with disabilities in the forelimbs.

The search for bibliographic information on the anatomy and functioning of the muscles and bones of the canines was carried out, in addition the different types of orthoses for rehabilitation and the causes of their use were reviewed, in the review it is noted that the orthosis must have the following characteristics to be optimal Comfort: referring to the physical well-being provided by the use of the orthosis, such as safety, easy mounting, water resistant, with light weights, functional, adjustable, breathable, easy to clean and aesthetic, it is they used SolidWorks and Blender programs to make the final prototype design.

Through the collection of information regarding the characteristics of an orthosis, the functional design for canine patients was obtained, which was designed in specific programs to obtain the design in detail, to which the electrical plate with parameterization of modules, actuators and objects is incorporated. electrical to make the modern orthosis more than functional.

**Keywords:** Orthosis, Rehabilitation, Engineering, Design

## Introducción

Los colombianos en los últimos años han optado por la tenencia de animales de compañía (perros y gatos), se calcula que hay una población de mascotas de aproximadamente 5 millones (Wallis et al., 2017), lo cual genera que los servicios veterinarios vayan en aumento y sean buscados de manera más recurrente a medida que pasa el tiempo, los propietarios deben cuidar a sus mascotas cuando estas tienen algún problema de salud, además deben estar en todo el proceso de rehabilitación si es el caso, desde que los científicos se dieron cuenta de los problemas de bienestar en los animales se pueden abordar mejor con una mayor comprensión de cómo se sienten los animales, ha surgido un gran interés en estudiar la sensibilidad animal, está universalmente aceptado que los animales sienten dolor y pueden sufrir; sin embargo, el bienestar no es solo la ausencia de dolor y miedo, sino que es predominantemente la presencia de afectos positivos, los estudios en humanos han determinado que la felicidad es promovida tanto por emociones positivas como por actividades físicas, el afecto positivo es difícil de medir en los animales, sin embargo, la evidencia muestra que los animales que viven en ambientes enriquecidos pueden beneficiarse de la creación de situaciones en las que hay anticipación de recompensas positivas, se busca un estado global de “bienestar”, que podría ayudar a mejorar la salud y dar al animal una mejor calidad de vida (Wallis et al., 2017).

Las mascotas pueden jugar un papel distintivo en el apoyo al bienestar en las diferentes etapas de los humanos como ejemplo en la adolescencia porque es un período de desarrollo caracterizado por una gran cantidad de cambios emocionales y físicos debido a la maduración sexual y desde una perspectiva de salud psicológica, se ha demostrado que tener una mascota en la adolescencia mejora la autoestima, disminuye la soledad y aumenta la resistencia a los síntomas depresivos y ansiosos, tener una mascota también se ha asociado con el desarrollo educativo y cognitivo de jóvenes y algunos han descubierto que los perros en particular mejoran la actividad física (Purewal et al., 2019), cuando el estado de salud de una mascota se ve afectado por una enfermedad o accidente, los propietarios suelen estar preocupados por la posibilidad de sobrecarga de las extremidades restantes, lo que lleva a hipotéticas patologías articulares secundarias, si el accidente puede llevar a una amputación, así, muchos dueños son reacios a este procedimiento y lo prefieren como alternativa a la eutanasia o toman la decisión solo después de que el paciente haya pasado por un doloroso proceso quirúrgico y/o de tratamiento

médico (Galindo et al., 2016), al intentar implementar este proyecto, se busca realizar una revisión de las características necesarias para la construcción de una órtesis canina de uso o para rehabilitación de las mascotas, además se realizara el diseño tanto la órtesis basado en la anatomía del canino y así en el futuro sea un dispositivo funcional y asequible para los propietarios de caninos que buscan siempre el bienestar de su mascota, de poder ayudar a recuperar las funciones motoras de los animales afectados o tener una movilidad autosuficiente, también les mejorará la calidad de vida si las consecuencias son irreversibles; esto se aplica a las amputaciones y enfermedades crónicas que pueden presentar los caninos (Atehortúa et al., 2007).

El papel del diseñador consiste en proveer factores y elementos que ayuden o beneficien en el desarrollo del producto o proyecto, con el fin de que todo este hecho con un propósito y no al azar, con la investigación se pretendía realizar un diseño que integre componentes mecánicos y eléctricos los cuales se podrían adaptar a la anatomía del canino, ya que en la mayoría de los casos las órtesis comerciales solo facilitan la movilidad del canino, pero presentando fallos en su estructura. Al trabajar con diseño e impresión 3d podemos considerar incluir el requerimiento de obtener una órtesis removible. El canino después de un tiempo de uso de la órtesis va a requerir de un descanso y por ello va a necesitar acostarse, las órtesis convencionales no están diseñadas para esto, por ende, se propone obtener un modelo ergonómico y de fácil manipulación, con el fin de obtener nuevas oportunidades para el canino. En esta investigación se plantea el modelado básico de la órtesis y las simulaciones de movimiento tanto del canino como de la órtesis mecánica, la cual brindara al canino soporte, movilidad y rehabilitación, además se pretende añadir al diseño la posibilidad de permitir al can realizar sus necesidades sin remover el dispositivo.

### **Características de órtesis para rehabilitación de caninos mediante análisis documental**

Las órtesis de rehabilitación se utilizan para apoyar y estabilizar una articulación mientras ayudan o restringen el rango de movimiento, las órtesis funcionales brindan estabilidad a las articulaciones y extremidades crónicamente inestables para dar un apoyo y función a largo plazo, los perros con displasia de cadera pueden beneficiarse de una órtesis funcional que les de soporte mientras se estabiliza la articulación de la cadera, el rango de movimiento de la articulación de la cadera se controla para evitar la luxación y las patas mantienen la posición y la extensión correctas.

Por lo tanto, a continuación, se exponen las características de órtesis para rehabilitación de caninos, una órtesis es un dispositivo ortopédico que se aplica externamente al cuerpo, un punto muy importante, es que éstas no requieren de una cirugía para ser colocadas y son muy económicas, pero requieren mantenimiento, este aparato tiene por fin el facilitar el movimiento, disminuir el dolor, y evitar que la enfermedad avance demasiado rápido (Rubio, 2021), según Robles, 2013 las órtesis a través de su clasificación funcional se definen en:

- Estabilizadoras (estáticas): Mantienen la parte afectada inmovilizada.
- Protectoras (estáticas): Alinean una parte del cuerpo lesionada.
- Funcional (dinámicas): poseen un elemento contráctil, activo, elástico, resorte con el fin de realizar una función en un segmento de un miembro patético.
- Correctoras (estáticas o dinámicas): se usan para corregir deformidades esqueléticas (Imbago, 2021).

Se tienen diferentes variables de diseño fundamentales en la órtesis canina de inmovilización que son:

- Comodidad: referida al bienestar físico que proporciona el uso de la órtesis.
- Seguridad: relacionada con la confianza en la órtesis, y, por ende, con la ausencia de riesgos al emplear el dispositivo.
- Fácil montura: relacionado con la facilidad que el usuario secundario o el veterinario tengan para colocar la órtesis.
- Resistente al agua: referido al material de la órtesis que no sea soluble en el agua.
- Peso: relativo a lo pesado o liviano que sea el dispositivo.

- Funcionalidad: relacionada directamente con la posibilidad de permitir la marcha del animal.
- Ajustable: se refiere a la posibilidad de ajustar la órtesis a distintas holguras.
- Transpirable: asegurar que la humedad de la transpiración escape rápidamente.
- Asepsia: relativo a la limpieza y aparición de nuevos problemas.
- Estética: asociada a la proyección visual de la órtesis, su apariencia física.
- Costo: referido a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición de la órtesis (Acero, 2019).

En la tabla 1 se exponen las características fundamentales de la órtesis canina.

**Tabla 1**

*Características de órtesis canina*

| Necesidades | Características  |
|-------------|--|
| Resistente  | Fuerza<br>Peso<br>Actividad física<br>Mordidas<br>Golpes<br>Clima  |
| Seguridad   | Material no toxico<br>Proteger los tejidos blandos del muñón en caso de amputación<br>Bordes sin filo<br>Biocompatible |
| Ergonomía   | Peso ligero<br>Comodidad<br>Permitir circulación<br>Suspensión<br>Estabilidad  |

|                  |   |
|------------------|---|
|                  | Cómoda  |
| Sujeción         | Hecho a medida  |
|                  | Cómoda  |
|                  | Fácil ajuste  |
|                  | Anatómico   |
| Estructurales    | Fácil montura   |
|                  | Flexible  |
|                  | Resistente al peso  |
|                  | Material no toxico  |
|                  | Rígida  |
|                  | Amortiguación   |
| Fácil de limpiar | Polvo   |
|                  | Líquidos  |
|                  | Mezcla de diferentes elementos                            |
|                  | Aséptico  |
| Fácil de poner   | Interacción humano-perro                                  |
|                  | Fácil ajuste  |
|                  | Fácil montura   |
| Graduable        | Alto  |
|                  | Ancho   |
|                  | Adaptabilidad   |
|                  | Ajustable   |
| Personalizada    | Tamaño  |
|                  | Color   |
|                  | Módulos   |
|                  | Estética  |
| Adquisición      | Económica   |
|                  | Fácil localización  |
| Articulada       | Si es amputación que sea por debajo<br>de la articulación |
|                  | Adaptable a la marcha                                     |

|                     |                    |
|---------------------|--------------------|
|                     | Transpirable       |
| Regular temperatura | Frio calor         |
| Entorno             | Resistente al agua |
| Materiales          | Locales            |
| Técnico-Productiva  | Costo              |

Fuente: Autor.

Según la revisión que se realizó y como ya se expone en el cuadro, son muchos los factores a tener en cuenta para realizar los diseños de las órtesis, por lo que cada característica cuenta para lograr obtener un diseño funcional, por ejemplo algunas de las razones por las cuales invertir en una órtesis a medida para caninos son cuando están en la etapa de rehabilitación, ya que como herramienta favorece su recuperación, impidiendo que agraven las lesiones, y algunos síntomas propios de la parálisis, como las úlceras o el estreñimiento, un perro mediano tiene un peso máximo de 40 kg y estudios indican que el 60% descansa apoyándose en las extremidades inferiores, por lo tanto, el mecanismo tiene que soportar aproximadamente 24 kg sin contar con la carga adicional generada por los componentes, por lo tanto, se requiere de un diseño y selección de materiales con las características necesarias que satisfagan los requerimientos de carga y movilidad (Mostafa et al., 2016), en la tabla 2 se listan los beneficios de la órtesis según las necesidades canina.

**Tabla 2**

*Beneficios según las necesidades de la órtesis canina.*

| <b>Necesidades</b>  | <b>Beneficios</b>  |
|---------------------|--|
| Uso                 | Para la rehabilitación del canino                                |
| Funcionales         | Utilización de una sola órtesis                                  |
| Materiales          | No hay que recurrir al veterinario para poner o sacar la órtesis |
| Técnico-productivas | Son de fácil acceso para compra                                  |
| Forma               | De fácil colocación  |

Entorno

De fácil montura, resistente al agua y a las actividades cotidianas del can

---

Fuente: Autor.

Los beneficios de la órtesis están en función de facilitar y manejar adecuadamente el proceso de adaptación del canino a un nuevo instrumento que le facilite el día a día, debido a que en algunas situaciones medicas se requiere de prótesis, órtesis o exoesqueletos para la rehabilitación de los animales, la actual tecnología relaciona el diseño eléctrico y mecánico para la creación de máquinas electromecánicas donde se trabaja en conjunto con médicos veterinarios con la finalidad de dar seguridad a los propietarios para poder implementarlos en los caninos, debido a que en muchos casos las mascotas deben ser sometidas a un procedimiento médico quirúrgico para la amputación de un miembro que se realiza habitualmente a pequeños animales, en donde, los traumatismos graves y los tumores en las extremidades son las razones más comunes; otras indicaciones incluyen osteomielitis crónica, disfunciones neurológicas como neuropatía ciática y parálisis del plexo braquial, deformidades congénitas de las extremidades, enfermedad vascular y fístulas arteriovenosas, a pesar de varios informes clínicos que indican una alta satisfacción del propietario después de la amputación de una extremidad en caninos, los propietarios, e incluso algunos veterinarios, siguen viendo una amputación como una medida extrema debido a la falta de información sobre la recuperación de los pacientes amputados, los propietarios tienden a pensar que el procedimiento puede afectar emocionalmente a los animales, como ocurre en las personas (Galindo et al., 2016).

Las órtesis se emplean en terapia veterinaria emergente debido a la experiencia limitada de los profesionales, la disponibilidad de dispositivos y los datos publicados de los resultados de los pacientes veterinarios. Aunque el éxito del tratamiento se puede determinar de varias maneras, la consideración de la calidad de vida de la mascota tiene prioridad al evaluar las terapias electivas, el propósito de la mayoría de los planes de tratamiento que involucran una órtesis es mejorar la calidad de vida del paciente veterinario, pero también se debe tener en cuenta el impacto que un tratamiento puede tener en la calidad de vida del propietario y su carga como cuidador, en medicina veterinaria, el propietario experimenta el proceso de tratamiento junto a su mascota (Lee et al., 2021) por lo tanto, es crucial que se satisfagan las necesidades y expectativas tanto del paciente como del propietario con el fin de mejorar las técnicas para

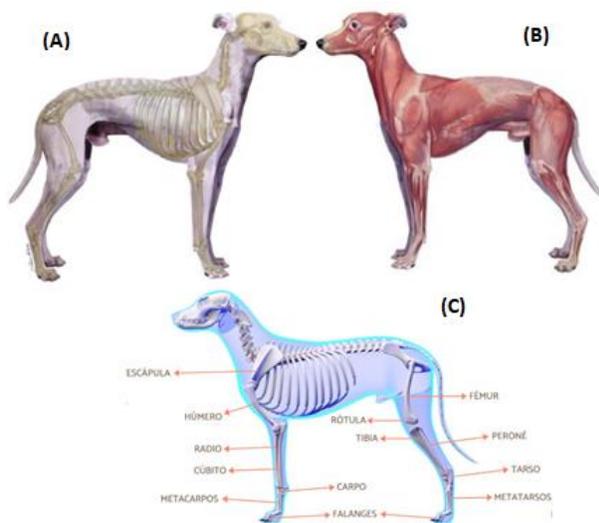
colocarle a la mascota la órtesis y con esto ayudar a la adaptación del perro, como se vio en el estudio de Lee S, 2021 el 86,3 % de los propietarios informaron seguir la prescripción completa del dispositivo de órtesis, y menos de la mitad de los encuestados utilizaron una forma de fisioterapia o rehabilitación para su mascota, entre las complicaciones que más se experimentan en las mascota mientras usan algún dispositivo son las llagas en la piel en particular son una complicación común de los dispositivos ortopédicos y protésicos veterinarios, con la modificación del dispositivo y el manejo adecuado de la herida, las llagas a menudo se pueden resolver, pero son una de las razones principales por las que se recomienda la supervisión veterinaria del uso de órtesis.

### Modelo de órtesis funcional para rehabilitación de caninos, a partir de la evaluación de la documentación recopilada

Para realizar el modelo de órtesis funcional se tuvo en cuenta diferentes aspectos anatómicos y clínicos de los caninos, por lo que se inició la investigación con la anatomía de los canes, el perro es un animal mamífero del orden carnívoro, pertenece a la familia de los cánidos, es un animal que varía mucho sus características dependiendo su raza, el perro tiene una vida promedio de 10 a 15 años, su inteligencia está muy desarrollada, y posee fiel memoria y demuestra grandes cualidades de afectividad, este posee un gran sentido del olfato y del oído, como también posee gran sentido de la orientación, el sistema musculoesquelético es el responsable del movimiento, del mantenimiento de la postura corporal y del depósito de iones como el calcio, fósforo y el magnesio, está directamente ligado al sistema nervioso puesto que necesita de un impulso nervioso para las órdenes motoras (Rubio, 2021), como se observa en la figura 1 (A,B).

#### Figura 1

*Sistemas anatómicos de un can*



A) Sistema esquelético

B) Sistema muscular del perro

C) Sistema óseo de las patas de los perros.

Fuente: Rubio, A. (2021). Diseño de órtesis económica para perros con displasia de cadera, con tecnología disponible en el contexto guatemalteco. *Studylib*, 1(3), 1–151. <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2011/03/04/Rubio-Ana.pdf> y Pascual, C. (2021, 23 de noviembre). Partes de las patas de un perro. <https://www.expertoanimal.com/partes-de-las-patas-de-un-perro-25754.html>

En la anatomía de los perros las patas cambian debido a su raza y tamaño pero están constituidas por los mismos huesos, tendones y articulaciones en todas ellas, las patas delanteras articulan en la cintura escapular, sin una clavícula que las una al cuerpo, esto permite que los perros tengan una excelente libertad de movimiento, ya que la unión a la cintura escapular es muscular, como se ve en la figura 1 (C), el hueso húmero, el cúbito y el radio, huesos cárpales pequeños y cortos y huesos metacarpales más largos, que finalizan y articulan con las pequeñas falanges que conforman cada uno de los dedos de la pata delantera, el perro solo posee cuatro dedos bien desarrollados en las patas delanteras y poseen un espolón o dedo rudimentario que puede cumplir importantes funciones cuando los perros caminan por terrenos rocosos, en las patas traseras presentan cuatro dedos, aunque hay excepciones dependiendo de algunas razas (Evans, 2013).

En empresas consolidadas que realizan órtesis, se observa que las aplicaciones ortopédicas están fabricadas con plástico termoformado con revestimiento de espuma térmica para un ajuste cómodo y se utiliza un enfoque biomecánico para la adaptación de los dispositivos, la integración elástica del sistema de correas permite un ajuste cómodo mientras mantiene una suspensión óptima, para no obstaculizar el movimiento dinámico de la anatomía de los perros (Collins, 2022).

Se debe tener en cuenta la aplicación de la órtesis ya que puede variar entre 1) Profiláctica: en donde los productos están diseñados para prevenir o reducir la gravedad de las lesiones articulares, ejemplo cuando un perro tiene una pata que no funciona (es decir, se dobla los nudillos), en este caso la órtesis sostendrá la pata, manteniéndola en la posición correcta cuando soporte peso, 2) para la rehabilitación de apoyar y estabilizar una articulación mientras ayudan o restringen el rango de movimiento, ejemplo los perros que tienen LCC (lesiones del ligamento cruzado craneal) y 3) La funcional que brinda estabilidad a las articulaciones y extremidades crónicamente inestables para apoyo y función a largo plazo, ejemplo en los perros con displasia de cadera pueden beneficiarse de una órtesis funcional para soporte mientras estabiliza la articulación de la cadera (Collins, 2022).

Como se observa en la figura 2 (Pag.30), están diferenciadas los tipos de órtesis que se pueden realizar para los miembros inferiores, sin descartar que existen órtesis para miembros superiores por ejemplo la cabeza. Se revisó la utilidad de las expuestas en la figura iniciando por la (A) Metacarpiano rígido del carpo articulado, el objetivo es fijar la pata en una posición

de postura normal para que, al caminar, las uñas, los dedos y la pata no se arrastren por el suelo creando llagas, la articulación del carpo puede tener un rango de movimiento libre durante el ciclo de la marcha mientras proporciona un soporte rígido para la pata y la órtesis proporciona un diseño de rodillo basculante, al aspecto de planta de la órtesis para facilitar un ciclo de marcha suave, (B) Tarsal rígido, útil para soporte externo rígido durante el tratamiento postoperatorio o inestabilidad crónica, la órtesis removible brinda el soporte externo ideal para las articulaciones tarsianas fracturadas se beneficiarían de una órtesis tarsal rígida en su tratamiento de recuperación, (C) Órtesis Tarsal Articulada es útil para soporte físico y estabilidad de la articulación del tarso mientras permite el rango de movimiento, su objetivo es proporcionar estabilidad física mientras se tiene la capacidad de controlar el rango de movimiento a nivel de la articulación en consecuencia, la órtesis está compuesta de plástico personalizado proximal y distal a la articulación del tarso con articulaciones de goma moldeadas en plástico, las articulaciones de goma están alineadas con la articulación del tarso. los diseños de moldes de plástico brindan soporte físico y estabilidad a los aspectos medial y lateral del tarso y la pata con un sistema de correas para evitar que la órtesis migre fuera de posición, la hiperextensión y la hiperflexión son controlables en esta aplicación ortopédica (Collins, 2022).

Siguiendo con la imagen la (D) Hiperflexión tarsal útil para articulación tarsiana colapsada, el objetivo es evitar que la articulación del tarso se colapse por inestabilidad (patológica o traumática), el diseño de la órtesis permite un sistema de amortiguación suave que evita que se produzca hiperflexión, (E) Órtesis articulada de tarso y metatarso rígido, para patas que se doblan, el objetivo es fijar la pata en una posición de postura normal para que, al caminar, las uñas, los dedos y la pata no se arrastren por el suelo creando llagas, (F) Órtesis de cadera bilateral, para displasia de cadera, inestabilidad de cadera debido a un traumatismo y soporte postoperatorio, el objetivo de la órtesis de cadera bilateral es evitar que las articulaciones de la cadera se subluxen (dislocación parcial) o se luxen (dislocación) al mismo tiempo que proporciona un soporte de estabilidad general para las piernas, el objetivo se logra al tener un plástico hecho a medida que se ajusta íntimamente al cuerpo canino, incorporadas dentro del plástico moldeado personalizado hay juntas mecánicas, un arnés de cuerpo personalizado suspende todo en posición para mantener el ajuste y la alineación durante la dinámica de los movimientos caninos, (G) Órtesis carpiana rígida, útil para soporte externo para arthodesis de las articulaciones del carpo, lesiones del plexo braquial y otras dolencias físicas, el objetivo es

proporcionar un soporte rígido para la articulación del carpo en una posición de postura natural mientras se ejerce una presión de soporte de peso normal a través de la almohadilla de la pata, la pinza de goma proporciona una excelente tracción con la superficie del suelo, este tipo de soporte externo a través de una órtesis carpiana permite que la pata y la pierna soporten el peso con mayor comodidad cuando se aplican fuerzas externas a la pata y la pata lesionadas, al mismo tiempo que previene problemas secundarios como llagas por arrastre de la pata o contracturas de los tendones (Collins, 2022).

Se sigue exponiendo la (H) Hiperextensión del carpo, para articulación carpiana colapsada, el objetivo es evitar que la articulación del carpo se colapse por inestabilidad (patológica o traumática), el diseño de la órtesis permite un sistema de amortiguación suave que evita que se produzca una hiperextensión, un sistema de flejado biomecánico evita que la órtesis migre fuera de lugar cuando el canino está activo, (I) Órtesis espinal, para Apoyo operativo y tratamiento a la inestabilidad crónica a largo plazo para la columna vertebral, el objetivo es apoyar y mantener la alineación de las vértebras al tiempo que proporciona las restricciones de rango de movimiento necesarias, (J) Órtesis articular del carpo, para soporte físico y estabilidad, el objetivo es proporcionar estabilidad física mientras se tiene la capacidad de controlar el rango de movimiento a nivel de la articulación en consecuencia, la órtesis está compuesta de plástico formado a medida proximal y distal a la articulación del carpo con articulaciones de goma moldeadas en el plástico, el diseño del molde de plástico brinda soporte físico y estabilidad a los aspectos medial y lateral del carpo y la pata con un sistema de correas para evitar que la órtesis migre fuera de posición (Collins, 2022).

Para terminar la imagen la (K) Combinación de órtesis de múltiples niveles articulares para tratamiento de rehabilitación postoperatoria, ayuda con soporte externo y estabilidad mientras mantiene las articulaciones en una alineación anatómica adecuada entre sí durante el tiempo de recuperación o como soporte a largo plazo para lesiones crónicas, (L) Órtesis de discrepancia de alargamiento de pierna, para piernas que tienen longitudes desiguales, por ejemplo, para caninos que experimentan una fractura de la pata a nivel de la placa de crecimiento en sus primeros años de desarrollo, lo que resulta en un retraso en el crecimiento del hueso y deja al canino con un ciclo de marcha alterado y una alineación incorrecta de la columna vertebral y la cadera, la órtesis encapsula la pierna completa distal a la articulación de la rodilla e incorpora una junta de goma en la articulación del tarso para una articulación normal mientras

fija la pata en la posición de apoyo para la estabilidad, el concepto de diseño proporciona un brazo de palanca biomecánico más largo de apoyo a la pierna (Collins, 2022).

### Figura 2

*Tipos de órtesis canina para miembros inferiores*



- A. \*Metacarpiano rígido del carpo articulado.
- B. Tarsal rígido.
- C. Órtesis Tarsal Articulada.
- D. Hiperflexión tarsal.
- E. Órtesis articulada de tarso y metatarso rígido.
- F. Órtesis de cadera bilateral.



G. Órtesis carpiana rígida.

H. Hiperextensión del carpo.

I. Órtesis espinal.

J. Órtesis articular del carpo.

K. Combinación de órtesis de múltiples niveles articulares.

L. Órtesis de discrepancia de alargamiento.

Fuente: Collins, J. (2022, 1 de agosto). *Orthotic Features, K-9 Orthotics y Prosthetics*. <https://www.k-9orthotics.com/orthoticsStifleOrthosis>.

Se presenta el caso de Kima figura 3, quien es la inspiración para el modelo de la órtesis, quien ingreso con paraplejia de miembros posteriores a la clínica veterinaria de Tunja, con úlceras a nivel de las rodillas y los metatarsos en su cara anterior debido a que se arrastra, se realizan exámenes neurológicos observándose reflejos disminuidos en su miembro derecho y ausencia de reflejos y sensibilidad en su miembro izquierdo, según la revisión de documentación la órtesis que más se adaptaría a esta paciente es del tipo de cadera bilateral, figura F, con este trabajo se obtiene el diseño del modelo de órtesis para este caso.

**Figura 3**

*Paciente Kima.*

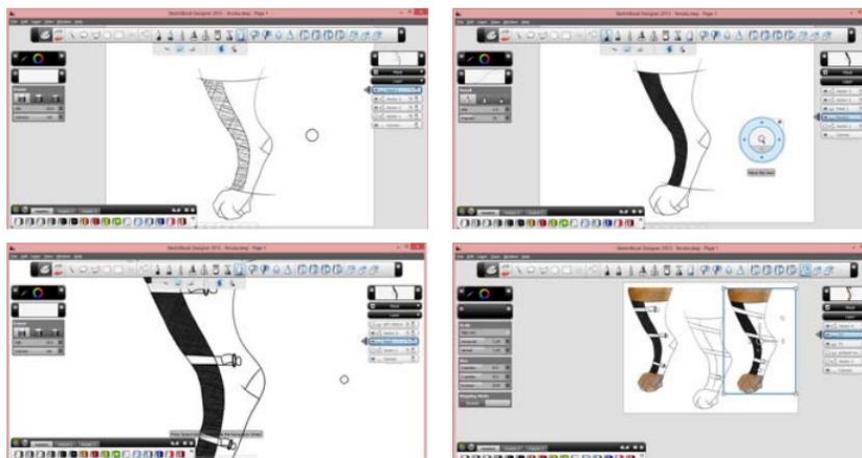


Fuente: Autor.

Como se ven en diferentes estudios como ejemplo el realizado por Rojas J. 2019, ellos usaron el programa Sketchbook Designer, donde se dispone una gran variedad de herramientas para dibujar con vectores a manera de bocetos y usaron una tabla digital para mejorar los resultados ya que se puede pintar y dibujar para poder obtener una mejor apreciación de los modelos (Rojas, 2019), en la Figura 4 se ven expuestos.

**Figura 4**

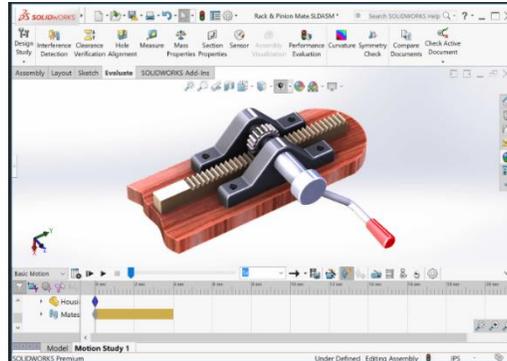
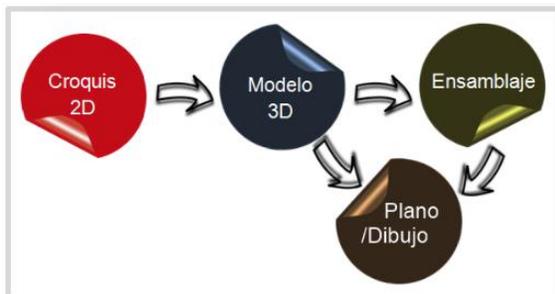
*Ejemplo de diseño en programa Sketchbook Designer*



Fuente: Rojas, J. (2019). Diseño de Ortopedia para rehabilitación y adaptación para caninos. *Escuela de diseño de Objetos*. 5(5), 1-80. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4759/1/11211.pdf>

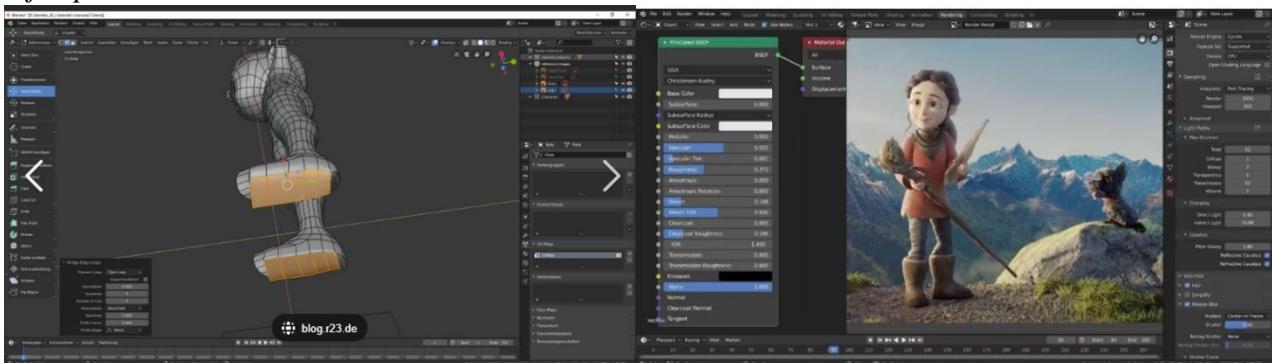
En este proyecto se usaron dos programas para realizar diseños los cuales son SolidWorks y Blender, el primero es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 2D y 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp, para el sistema operativo Microsoft Windows, este programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción, es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD, el proceso inicia en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto, posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera automatizada, como se mencionó, se basa en el modelado paramétrico, reduciendo el esfuerzo necesario en modificar y crear variantes en el diseño, ya que las cotas y relaciones usadas para realizar operaciones se almacenan en el modelo.

SolidWorks, proporciona un software de diseño de fácil uso y poderosas herramientas para los ingenieros y diseñadores, permitiéndoles cubrir todo el proceso (crear, validar, comunicar y gestionar) de desarrollo de producto, asegurándose de que este es correcto antes de fabricarlo, como se observa en la figura 5 la creación comienza de un croquis 2D el cual dibujará en un plano de trabajo mediante entidades de croquis (línea, círculo, rectángulo, spline, etc.), herramientas de croquizado, herramientas de acotación y relaciones geométricas (tangente, perpendicular, concéntrica, etc.) entre sus entidades, a continuación mediante operaciones (extrusión, revolución, redondeo, chaflán, etc.) va trabajando su modelo 3D (sólido o superficie), en el paso 3 se puede crear otras piezas y pasar a formar con ellas un ensamblaje usando relaciones geométricas de posición. Posteriormente proceder a su análisis y estudios de movimiento con la finalidad de detectar interferencias entre componentes evitando diseño inadecuados y, por último, pasar al módulo dibujo para representar esa pieza o ensamblaje en un plano con las diferentes vistas estándar, auxiliares, secciones o detalles que nos interese visualizar (Fernández, 2017).

**Figura 5***Proceso del diseño Solidworks*

Fuente: Fernandez, D. (2017, 1 de mayo). *Curso de SolidWorks 2017 Iniciación*. [https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/\\_que\\_es\\_solidworks\\_.html](https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html).

El segundo programa que se usó fue Blender 3D, que forma parte de los programas para animación 3D, y está enfocado al modelado, control de iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos en 3D, también de composición digital utilizando la técnica procesal de nodos, edición de vídeo, escultura (incluye topología dinámica) y pintura digital, es un software libre, actualmente es compatible con todas las versiones de Windows, macOS, GNU/Linux, Android, Solaris, FreeBSD e IRIX, en la figura 6, se ven ejemplos de modelados 3D (Palacios, 2021).

**Figura 6***Ejemplo de modelado 3d Blender*

Fuente: Palacios, A. (2021, 6 de julio). *Blender el software que convertirá tus ideas en 3D*. <https://www.crehana.com/blog/animacion-modelado/que-es-blender/>

Para continuar con el desarrollo del proyecto se realizan estos primeros diseños para la órtesis canina usando los programas de diseño ya mencionados, en base al caso de la paciente Kima; se buscó la mejor opción partiendo de la órtesis de cadera bilateral ya que al tener complicaciones en el sistema nervioso esta ayudaría al paciente por la debilidad muscular pero no ayudaría con las úlceras, por ende la mejor opción sería la órtesis de silla o carro con recubrimiento en goma para las patas traseras, el primer modelo de órtesis se realizó con la información relacionados a su historia clínica y se obtuvo la base para colocar las extremidades traseras, uniones para desacoplar la órtesis de manera rápida y dos paralelas para sujetar al canino, se observó que el canino va a tener dificultad al sentarse ya que la base no es lo suficientemente flexible, se muestra en la figura 7 este primer diseño.

### Figura 7

*Primer diseño de órtesis*

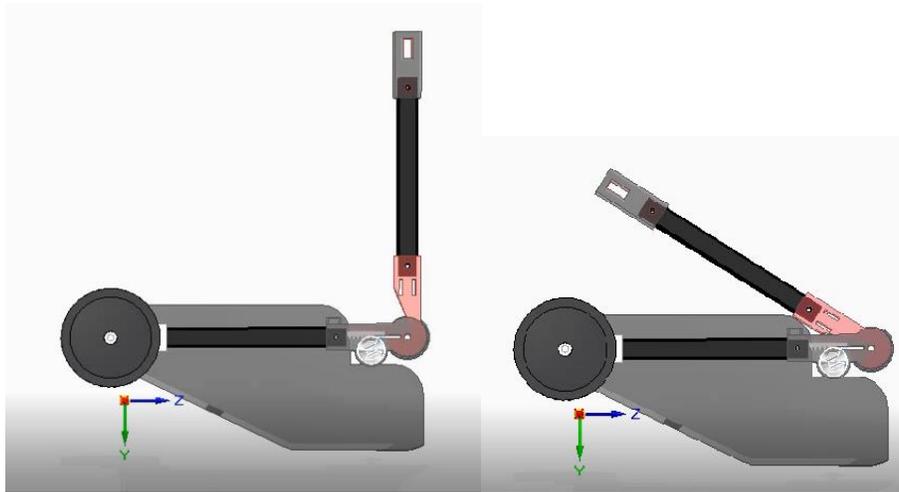


Fuente: Autor.

El segundo modelo fue modificado en la base y se añadió un sistema para los procesos fisiológicos del canino, figura 9, además de las barras laterales que se adaptaron para poder generar el movimiento de forma paralela cuando el canino se sienta, como se muestra en la figura 8.

**Figura 8**

*Segundo modelo de órtesis*

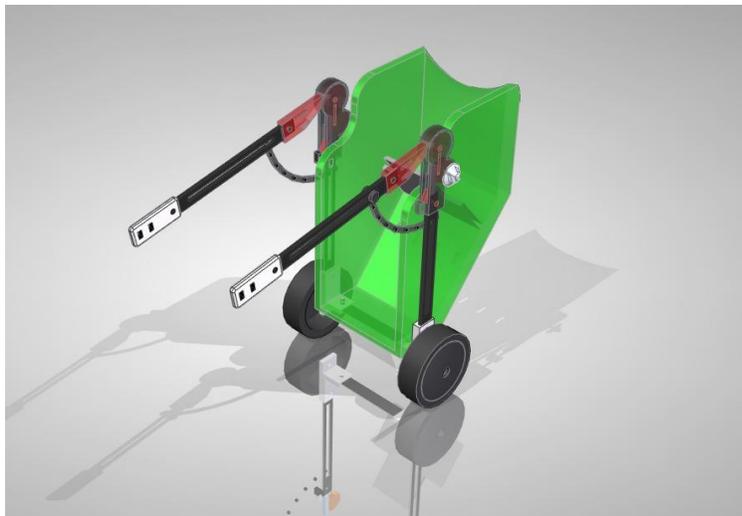


Fuente: Autor.

Se genera el segundo modelo de la órtesis con los parámetros establecidos al inicio del proyecto para que el canino pueda tener sus distintos movimientos sin la necesidad de asistencia humana, como se muestra en la figura 9.

**Figura 9**

*Segundo modelo de órtesis prototipo móvil*



Fuente: Autor.

Posteriormente se usó el programa Blender para realizar el modelo canino en 3D, esto se debió a que otras alternativas como el escaneo 3D y otros programas de diseño no nos brindaban las herramientas y funcionalidades que requerimos como la armadura o esqueleto el cual se enlaza al modelo, se tomó la contextura de los caninos de raza mediana y se comenzó con el proceso de diseño, el cual este ilustrado en la figura 10.

### Figura 10

*Modelo de canino en 3D*

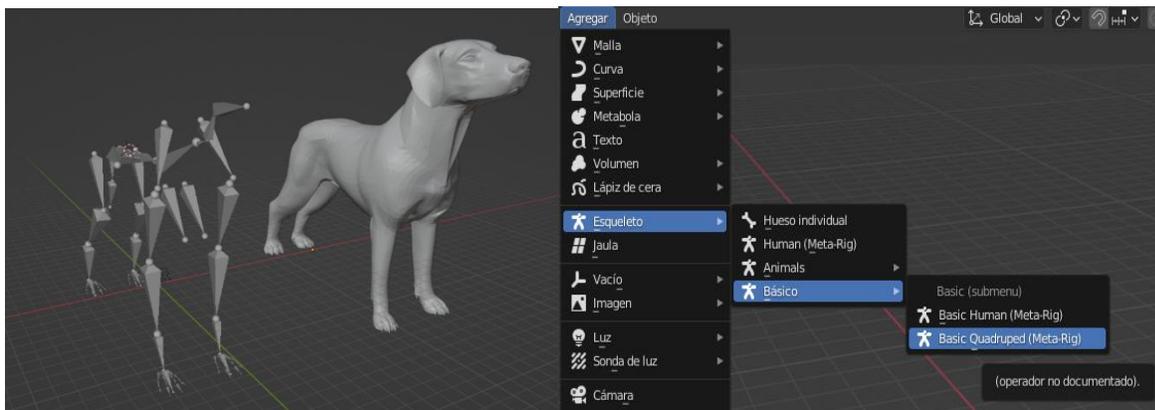


Fuente: Autor.

Blender tiene diferentes funciones a la hora de realizar simulaciones y movimientos con diseños 3D, Armor es una herramienta que permite enlazarla al modelo para poder generar el movimiento, se ilustra en la figura 11 su barra de herramientas y el diseño generado, Blender nos da la facilidad de generar el modelo desde cero o utilizar una estructura básica de un cuadrúpedo; la estructura básica se modifica conforme el modelo y no al contrario ya que las escalas de esta función son muy pequeñas y esto afectaría la simulación.

**Figura 11**

*Diseño de modelo canino Armor con Blender*

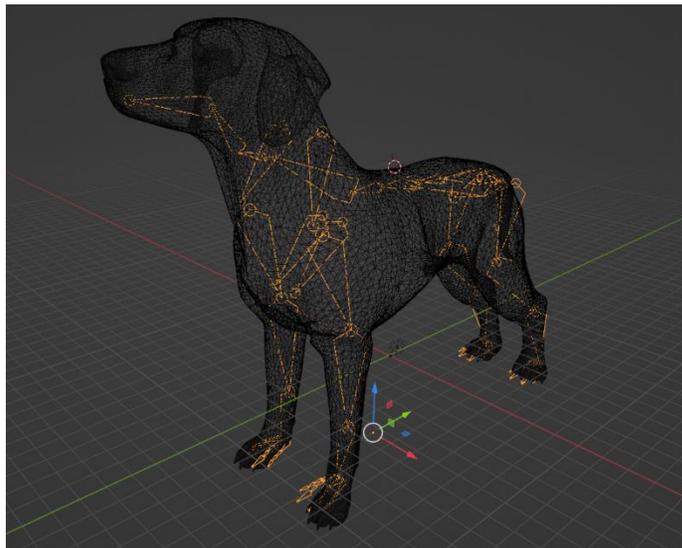


Fuente: Autor.

Se procede a unir la armadura en forma de canino con el modelo realizado teniendo en cuenta la distancia entre las extremidades delanteras y traseras, los huesos que se dejaron para los muslos y las uniones que le dan el movimiento a la cola como se ilustra en la figura 12.

**Figura 12**

*Diseño canino con Armor*



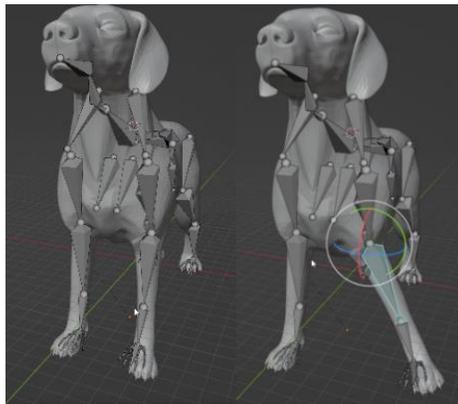
Fuente: Autor.

Al tener el esqueleto y el modelo unido se procedió a realizar movimientos para ver donde se generan rupturas, elongaciones o giros que el canino no puede hacer, esto se debe a

que la simulación se plantea de forma similar a los movimientos convencionales, se procede a realizar los primeros movimientos de prueba que se ilustran en la figura 13.

### Figura 13

*Movimientos de prueba canino*

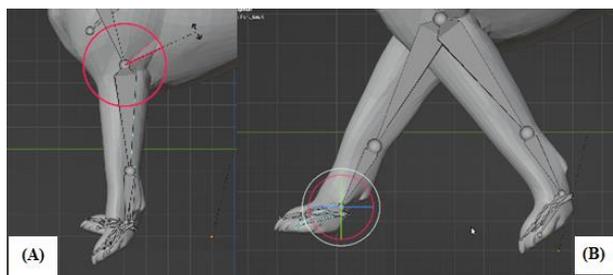


Fuente: Autor.

Al tener los movimientos límite del canino se comienza con la primera simulación que consiste en el movimiento de las extremidades delanteras para que el canino se pueda mover, primero se genera una pose de reposo la cual consiste en el canino estático figura 14 (A), después se comienza con los movimientos de las patas hasta el hombro ya que este es el movimiento que los caninos realizan para poder caminar figura 14 (B).

### Figura 14

*Simulación de movimiento*

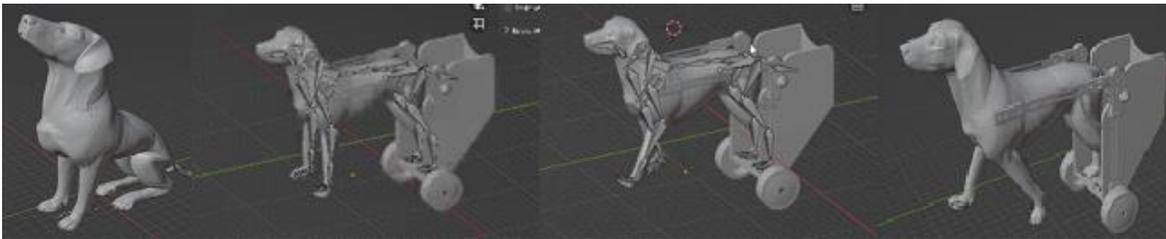


Fuente: Autor

Con base a los conocimientos adquiridos se procede a realizar los primeros movimientos de prueba con los modelos ya obtenidos en el proceso técnico de diseño en los programas, al poder generar el movimiento principal del canino se comienza con la segunda simulación la cual consiste en el movimiento de sentado, ya que él tiene problemas en las extremidades posteriores este movimiento no lo va a poder generar de forma autónoma y el movimiento con la órtesis podría ser contraproducente, se realiza en el programa la simulación de caminata con el diseño de la órtesis, que se muestra en la figura 15.

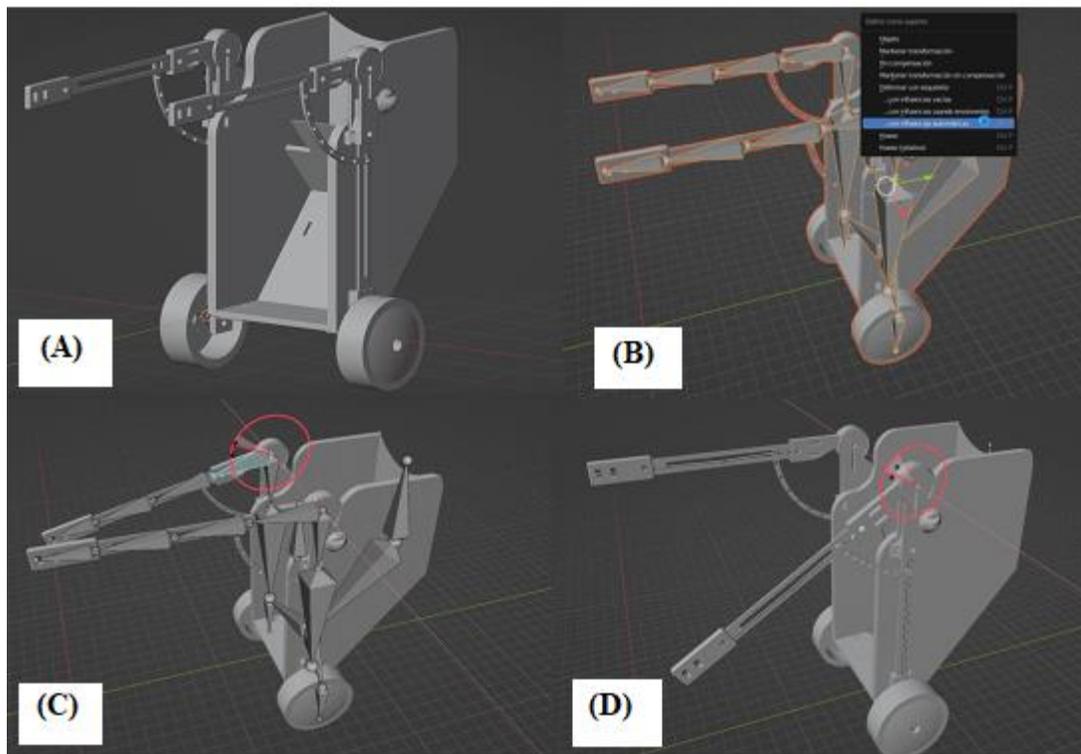
### Figura 15

#### *Simulación de caminata*



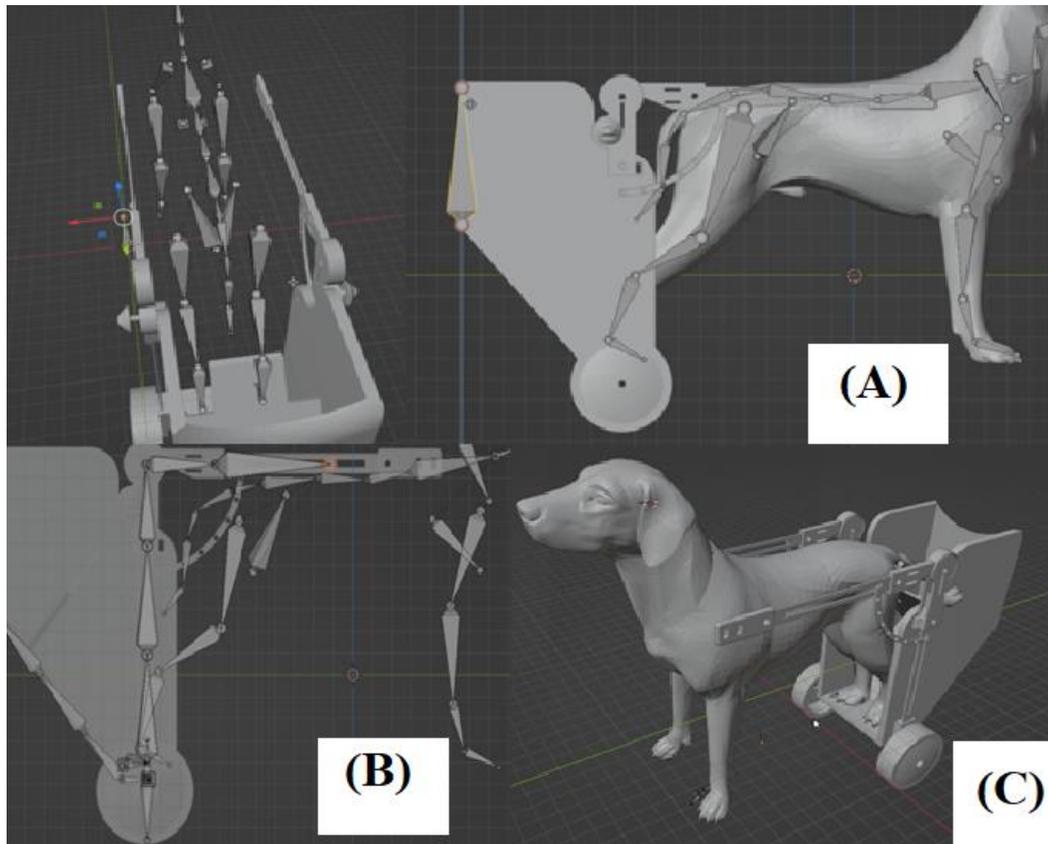
Fuente: Autor.

Se continua el proceso con el movimiento de la órtesis llevándolo al formato STL para posteriormente unirla en Blender, generando el modelo estándar trabajado figura 16 (A), de igual manera se crea la armadura de la órtesis que genera movimientos de desplazamiento y rotación, por ende se genera el esqueleto o armadura acorde al diseño para sus futuros movimientos, figura 16 (B), se procede a realizar los movimientos pertinentes de la órtesis sin el canino para ver las posibles modificaciones de diseño teniendo en cuenta el programa que se está manejando figura 16 (C,D)

**Figura 16***Movimiento de la órtesis*

Fuente: Autor.

Se inicia el ensamblaje de la órtesis modelo y armaduras, al tener los distintos movimientos de la caminata y los de la órtesis se genera la unión de todo para comenzar con la simulación de sentarse, se realizó de esta manera ya que el canino genera diferentes movimientos a la hora de sentarse y acostarse, primero se procede a parametrizar la escala con la que vamos a trabajar, tanto del canino como de la órtesis y se procede a unir ambos modelos para generar solo uno figura 17 (A), esto se realiza para que la configuración del esqueleto sea más óptima, al tener las dimensiones parametrizadas, extendemos el esqueleto del canino hacia la órtesis para hacer un solo sistema, esto se realiza para tener un mejor manejo de la simulación y los movimientos que se van a realizar figura 16 (B) y al final se realiza el esqueleto de la órtesis conforme el diseño, ya que los movimientos van a ser en conjunto, si se deja alguna extensión o diseño sin esqueleto la simulación podría ser defectuosa y no llegar a los resultados esperados figura 17 (C).

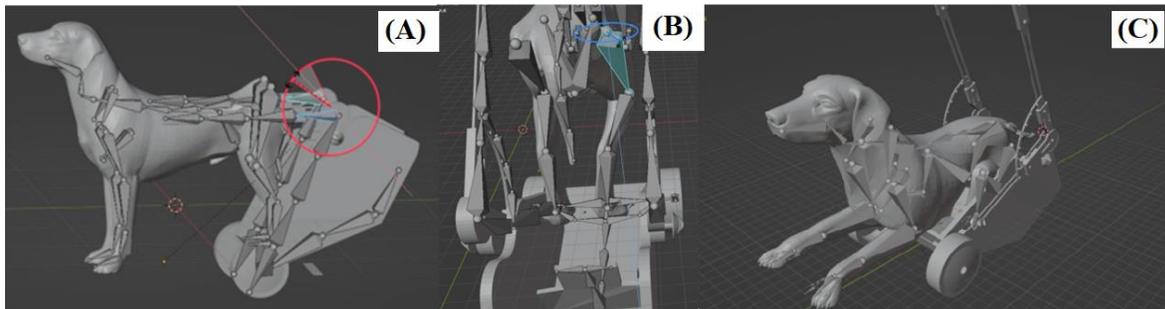
**Figura 17***Ensamblaje de órtesis*

Fuente: Autor.

Se procede a realizar movimientos pequeños guiados del movimiento convencional del canino, cuando va a reposar o acostarse, primero las extremidades generan un pequeño movimiento de desplazamiento hacia adelante, este movimiento hace que la órtesis también se desplace y genere un movimiento rotacional en su propio eje como se ilustra en la figura 18 (A), el segundo movimiento que hace es la apertura de los muslos para poder acostarse, este movimiento se generó individualmente con un ángulo de  $20^\circ$ , tanto por el movimiento convencional como por las dimensiones de la órtesis en la figura 18 (B) y por último el tercer movimiento que es el desplazamiento del estómago y el torso hacia el piso, los caninos posicionan las patas delanteras en un ángulo superior a  $90^\circ$  respecto al torso, los muslos quedan a la misma altura que la columna vertebral, y la órtesis genera un movimiento rotacional de aproximadamente  $90^\circ$  conforme baja el abdomen que se observa en la figura 18 (C).

**Figura 18**

*Simulación de movimiento acostado*

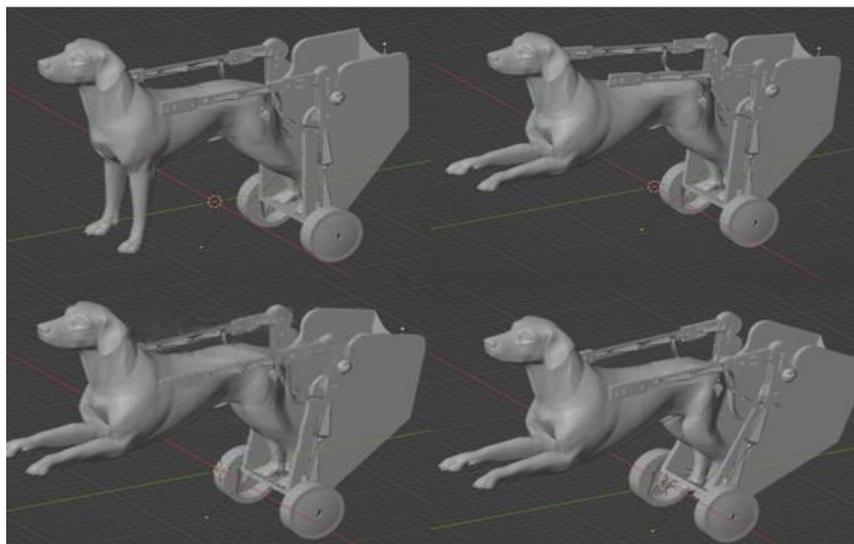


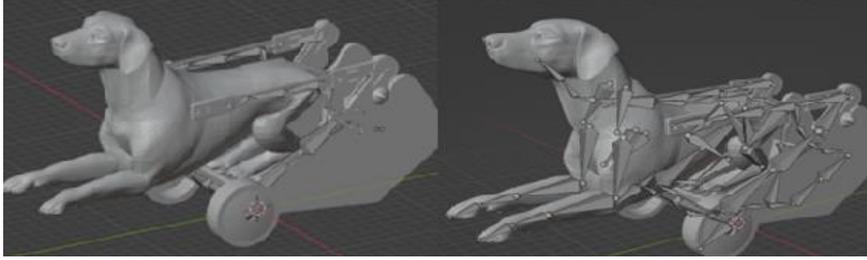
Fuente: Autor.

Se procede a realizar la simulación con los movimientos mencionados anteriormente y siguiendo la cronología descrita, ya que son movimientos estándar de la estructura física del canino, se observa en la figura 19.

**Figura 19**

*Simulación de movimientos canino*





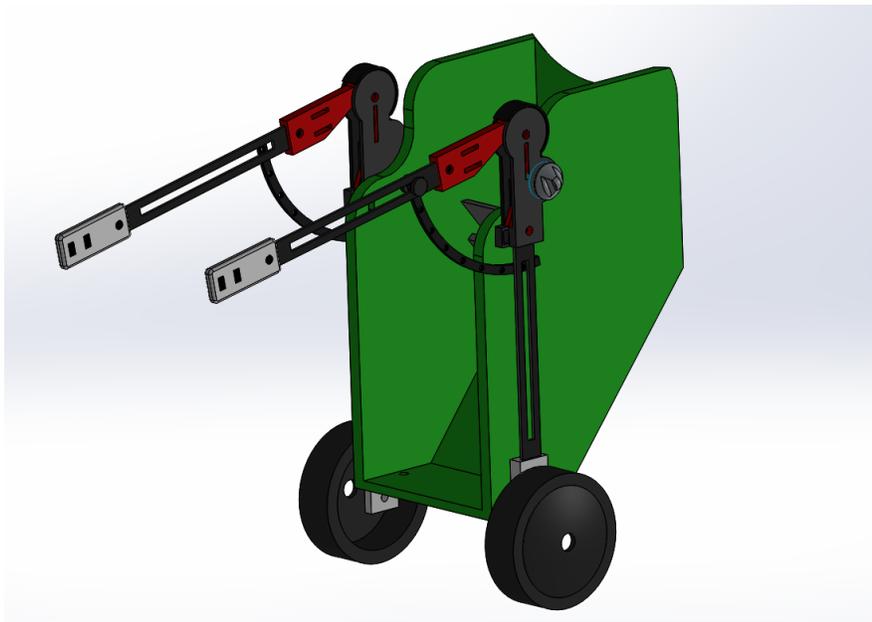
Fuente: Autor.

### **Ajuste de modelo diseñado a partir de los resultados de su evaluación, para optimizarlo mediante estrategias computarizadas**

Se realizó todo el proceso de modelado en el programa Blender, para los ajustes pertinentes se sigue con el proceso de diseño y creación de la placa electrónica y parametrización de módulos, actuadores y demás objetos electrónicos para la órtesis, se inicia revisando el diseño final que se ve en la figura 20.

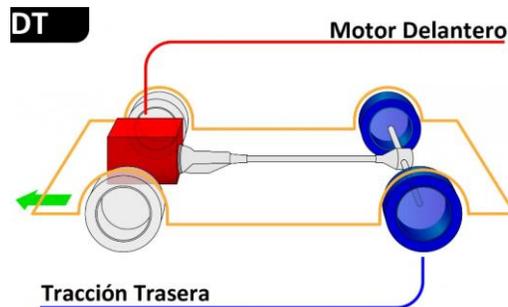
#### **Figura 20**

*Diseño de órtesis*



Fuente: Autor.

Al realizar el movimiento general de la órtesis se comienza con el desglose de los componentes que van a generar dicho movimiento; esto se debe hacer debido a la distribución paraje que debe existir para no afectar al canino dejando un lado más pesado que el otro, en los movimientos generales se tiene el de la rotación de las ruedas al cual se le aplica un eje de transmisión como se observa en la figura 21.

**Figura 21***Eje de transmisión*

Fuente: Azuara, D. (2021, 23 de agosto). *Mantenimiento de eje de transmisión*. <https://automexico.com/mantenimiento/eje-de-transmision-que-es-y-fallas-aid12730>

El actuador que va a realizar el movimiento de rotación va a ir unido a una caja de transmisión (piñones, engranajes), los cuales tendrán una variación en la velocidad ya que el canino va a caminar y posiblemente trotar o correr, la caja o eje de transmisión sirve para conectar la caja de transmisión que se encuentra en un eje diferente con el eje diferencial, esta caja de transmisión se observa en la figura 22.

**Figura 22***Diseño de eje de transmisión para la ortesis*

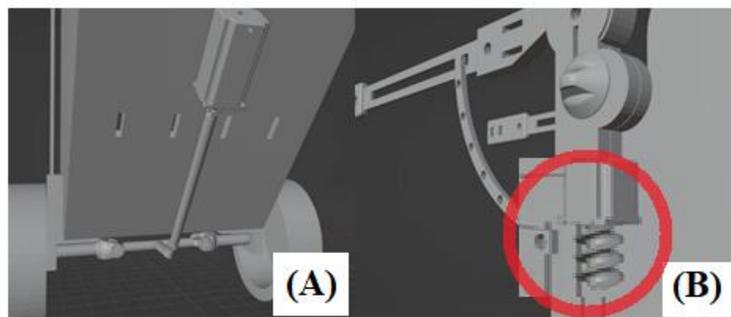
Fuente: Autor.

El actuador que se implementó para generar el movimiento principal es uno que genera 360° ya que al tener este parámetro podemos variar el pulso y generar distintas velocidades, a parte el movimiento vertical de las barras laterales, aunque es paralelo deberá tener un actuador individual para cada barra ya que al dejarlo con un solo actuador y generando una unión a la

otra barra aumentara el peso en un lado de la órtesis y como ya se mencionó este peso debe ser equilibrado, el desplazamiento de las barras está sujeto al movimiento del canino, pero por seguridad se emplean dos servomotores para ayudar a realizar esta acción, como se observa en la figura 23, la parte (A) es la unión de los ejes y el eje de transmisión y la (B) los motores laterales.

### Figura 23

(A) Unión de los ejes y (B) Motores laterales

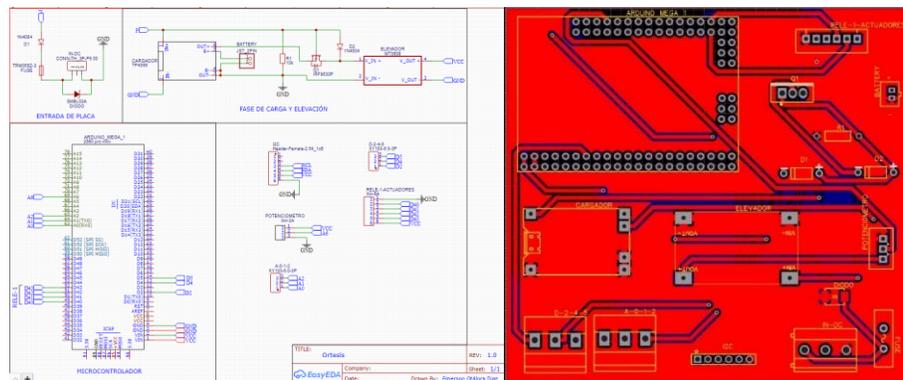


Fuente: Autor.

Al tener actuadores, sensores y la variación de velocidad, se planteó la creación de una placa electrónica que mediante un microprocesador y otros módulos (modulo elevador y modulo Relé) podrá ayudar en los movimientos de cierre y apertura de una forma más controlada, mientras el canino está realizando sus actividades diarias, se obtiene el diseño de la placa que se observa en la figura 24.

**Figura 24**

*Diseño Placa*

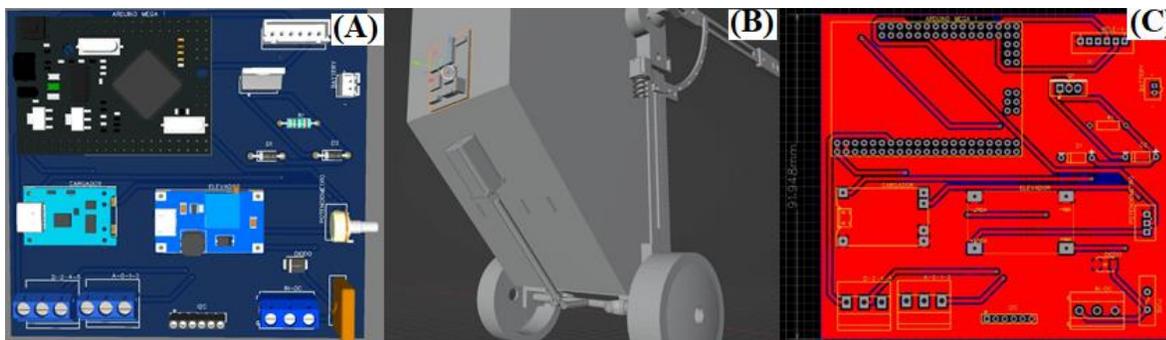


Fuente: Autor.

Se recrea el modelo 3D de la placa electrónica (figura 25 (A)) para obtener las dimensiones y así establecer el lugar correcto dentro de la órtesis, después se vinculó a un diseño básico de la órtesis figura 25 (B) y se determinó que ira en la parte trasera de la misma, este paso se hace para facilitar el ensamblaje y cableado de los actuadores figura 25 (C), Al trabajar con actuadores se debe implementar un módulo elevador ya que los motores funcionan con una potencia elevada que el Arduino no puede generar, se planteó la implementación del elevador MT3608 ya que este nos da un voltaje de salida de 5V a 28V con una corriente máxima de 2.

**Figura 25**

*Proceso de adaptación de placa electrónica*

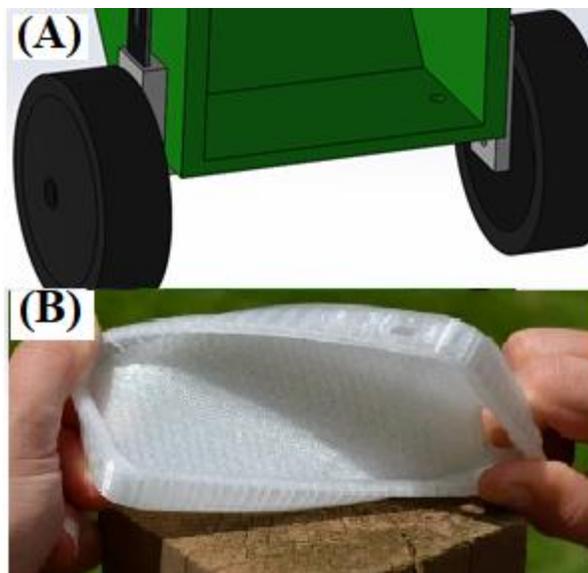


Fuente: Autor.

Buscando el mejoramiento continuo de la órtesis se observó que el canino al realizar el movimiento para acostarse necesita que la estructura donde reposan las extremidades traseras sea lo suficientemente flexible para no generar incomodidad, esta pieza o superficie se va a crear con filamento TPU flexible que es un poliuretano termoplástico que tiene una propiedad notable la cual es la flexibilidad, también es un material duradero y tiene gran absorción a impactos, el cual nos dio una forma sólida con la ventaja de poderlo deformar hasta su punto límite manteniendo su estructura, y así conseguimos mejorar la órtesis final, se muestra en la figura 26 (A) el lugar donde ira el material y en la figura 26 (B) el material por el que se va a reemplazara la base de la estructura.

### Figura 26

(A) Estructura (B) Poliuretano termoplástico



Fuente: Autor de la investigación (A) y (B) Alicia, M. (2020, 4 de junio). *Guía Completa: El TPU en la impresión 3D*. <https://www.3dnatives.com/es/guia-completa-tpu-040620202/>

Los actuadores eléctricos son un instrumento conformado por un motor eléctrico y un reductor que permite accionar cualquier dispositivo para realizar movimientos o acciones, estos sólo requieren la energía como fuente de poder y su estructura es simple en comparación con otros actuadores, un actuador en general es un dispositivo que puede transformar un tipo de energía en un proceso que se activa a raíz de ella, en información los motores NEMA que

significan National Electric Manufactures Assciation, son los estándares principales en los Estados Unidos y la Norma Nema MG1 dicta los estándares para la producción de motores y generador, en este trabajo se usaron los motores nema 17 para la apertura y cierre de la ortesis, figura 23-B y un nema 23 para el movimiento de traslación, figura 23-A, que también se observan en la Figura 27, ya que estos motores son de tipo bipolar, se pueden dividir las revoluciones por minuto en 200 pasos lo que nos ayuda a la hora de realizar el movimiento de apertura y cierre de la órtesis, aparte, este motor es robusto y en aplicaciones que tienen microprocesadores tiene una consistencia considerable.

### Figura 27

*Motores nema 17 y nema 23*

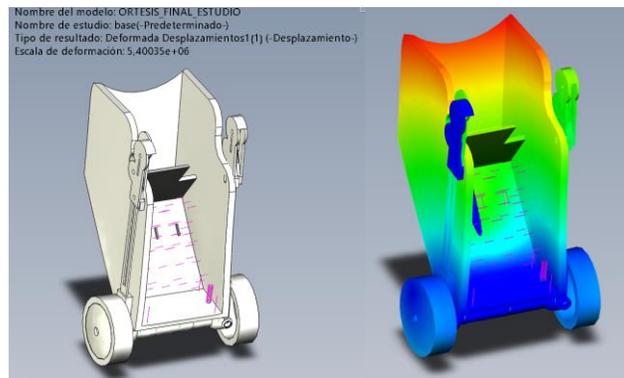


Fuente: Zikodrive, J. (2018. 15 de mayo). *Tamaños de bastidor del motor NEMA y lo que significan*. <https://www.zikodrive.com/es/ufaq/nema-motor-marco-tamanos-media/>

Continuamos con el análisis de elementos finitos (FEA), al aplicar esta técnica de simulación se generó un preprocesamiento en el modelo de la órtesis para analizar su estructura, en general un modelo de elementos finitos está definido por una malla, la cual está conformada por elementos y nodos; se recrea la simulación teniendo en cuenta el peso del canino, ya que no se tiene pre establecido este valor, se toma el mayor peso que puede tener un canino de raza mediana que es 40 Kg, se expone en la Figura 28.

**Figura 28**

*Modelo de elementos finitos de la órtesis*

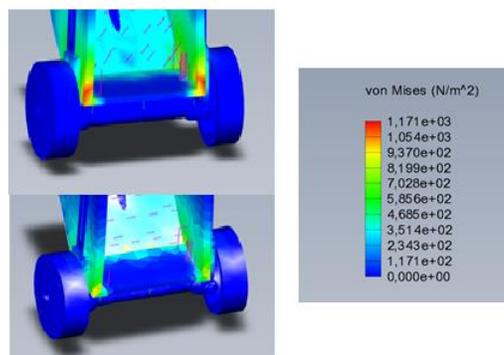


Fuente: Autor.

Se realizó un estudio estático en el programa SolidWorks para la base de la órtesis, la cual nos mostró las deformaciones que va a presentar el modelo mediante su uso, como se observa en la figura 29, la deformación más grande se va a presentar en la base ya que es un material distinto el que va a mantener la base de la estructura en general; se generan dos simulaciones, una con los valores definidos por el programa y otra con la carga externa de 392N ya que al tener el peso máximo del canino que es 40 kg, multiplicado por la gravedad  $9.8 \text{ m/s}^2$ , podemos obtener un valor promedio de la fuerza que va a sostener la órtesis.

**Figura 29**

*Deformaciones esperadas del modelo*

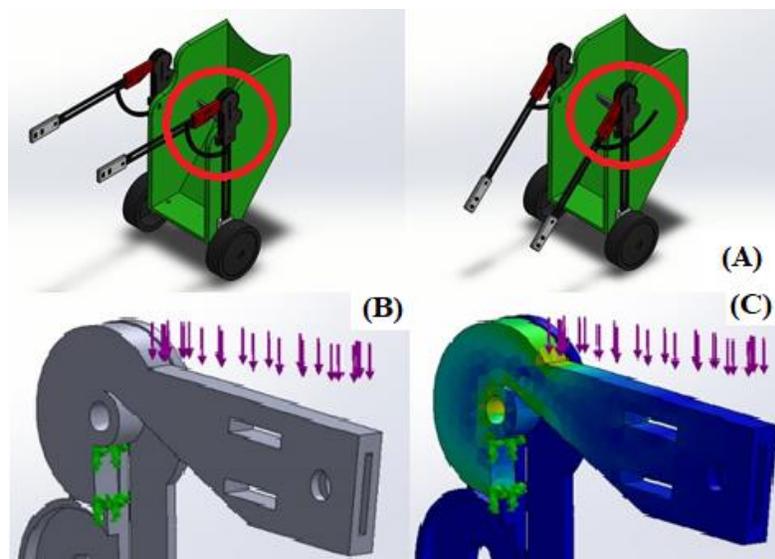


Fuente: Autor.

Se continuó realizando otro estudio ya que el movimiento de la pieza de unión entre la base es importante para el funcionamiento óptimo de la órtesis, se colocó carga en ella ya que esta pieza va a generar el movimiento de cierre y apertura para que el canino se pueda acostar, el estudio de elementos finitos nos muestra un pandeo en la pieza y se ilustra en la figura 30, en la parte (A) de la misma se observa la simulación de movimiento de la parte y en la (B) y (C) el estudio de fuerza realizado.

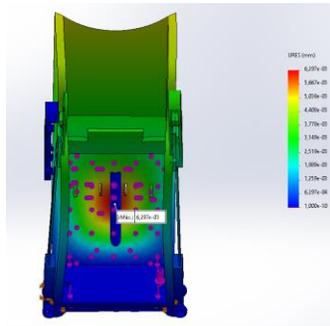
### Figura 30

*Estudio de elementos finitos pieza de Unión*



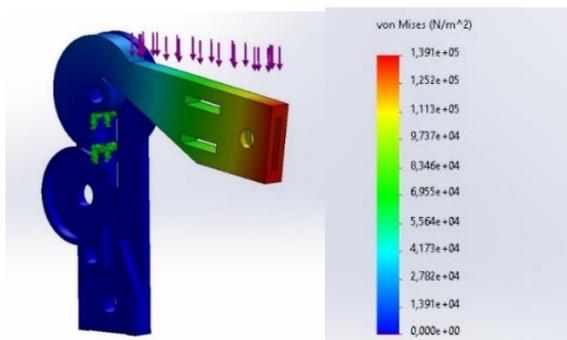
Fuente: Autor.

El estudio de fuerza se debe a que el módulo de Young ‘módulo de elasticidad’ es diferente para los materiales plásticos y los materiales de acero o aluminio, el PLA él cual se considera plástico, tiene un módulo de Young de 3.3 a 3.6 GPa y un coeficiente de expansión térmica que varía de 126 a 145  $\mu\text{strain}/^{\circ}\text{C}$ , por esto tiende a deformarse de forma más rápida en comparación a los metales o al ABS otro filamento para impresión 3D; el análisis dado por el programa SolidWorks dice que tiene una deformación máxima de  $3.961 e^{-2}$  mm lo que nos da una deformación plástica; esto quiere decir que el material no podrá recuperar sus dimensiones originales, esto se basa en la estructura del material, los átomos se desplazan de su posición original conforme se aplica una fuerza.

**Figura 31***Deformación Máxima*

Fuente: Autor.

La deformación es un fenómeno que conlleva al cambio de un cuerpo, el cual puede ser permanente o reversible, la deformación máxima que tenemos en la ortesis es de  $6.297 \times 10^{-3}$  mm la cual nos va a generar una deformación baja, pero se volverá permanente en el modelo a lo largo del tiempo; esto se debe a la tensión creada en el interior del material. Simplemente al generar un estiramiento o acotamiento en los enlaces de los átomos que componen un material obtendremos un tipo de deformación y entre mayor la fuerza aplicada, mayor es la probabilidad de obtener una deformación plástica la cual es permanente. Al realizar el estudio con una fuerza de 392 N, teniendo en cuenta el peso máximo de un canino de raza mediana que es 40 kg tenemos una buena tolerancia con respecto a la deformación máxima que puede generar daños en el funcionamiento de la ortesis.

**Figura 32***Estudio de fuerza*

Fuente: Autor.

## Conclusiones

Se determinaron las características que debe tener la órtesis para hacerla funcional e ideal mediante la recolección de información bibliográfica y con éste se obtuvieron los lineamientos de diferentes áreas como la Medicina Veterinaria y la Ingeniería Mecatrónica las cuales dieron las pautas para los materiales como el termoplástico PLA que está fabricado a base de recursos renovables y no es toxico para los caninos, el aluminio que es un material rígido con un peso menor al acero el cual facilita al canino cuando se desplaza, como los módulos y microcontroladores que se deben usar en su elaboración.

Se modeló la órtesis canina mediante software y herramientas de diseño con la finalidad de brindarle al canino seguridad protegiendo sus extremidades y ayudándolo con sus necesidades fisiológicas, también generando un sistema resistente que le va a ayudar cuando este se encuentre en rehabilitación, los programas como Solidwork y Blender permiten que se puedan realizar diseños semejantes a la realidad para generar como en este trabajo de investigación una órtesis básica y personalizarla de acuerdo a cada canino.

El análisis de elementos finitos y la deformación máxima nos dan un panorama del funcionamiento de la órtesis a largo plazo, ya que al estudiar las uniones que tiene y realizar las simulaciones con el peso máximo de 40 kg, se pueden ver los elementos con mayor índice de fractura o daño, lo que nos daría una obsolescencia con el cual podemos realizar los respectivos ajustes o cambios cuando sea pertinente sin poner en riesgo la salud o vida de nuestro canino.

Al utilizar programas de diseño podemos ver los componentes necesarios que debe tener una órtesis para su funcionamiento básico (móvil-sujeción) y al vincularlo con simulaciones y estudios de materiales generamos un panorama personalizado para cada canino partiendo de un modelo base, ya que las complicaciones médicas que tienen no siempre van a ser las mismas; con esto entablamos una mejora considerable a la hora de realizar las órtesis ya que estas tendrán el funcionamiento básico pero los componentes necesarios para la rehabilitación serán únicos.

### **Recomendaciones**

Mediante la búsqueda de la información se encontró que muy pocas entidades registran de forma científica los procesos y diseños que realizan al hacer una órtesis canina, es de vital importancia reportar estos datos ya que en muchas oportunidades sirven de guía para los ingenieros o diseñadores que quieren hacer este trabajo de crear las órtesis.

La tecnología está avanzando a grandes pasos, por lo que todos los días vemos en diferentes países las estrategias para avanzar en todos los campos incluido el de la rehabilitación, la tecnología nos ayuda a modelar y fabricar productos para beneficio humano y animal, cuando se modela a medida se resuelven problemas de adaptación, como se observó en este trabajo, ya que los problemas relacionados con las úlceras no iban a mejorar hasta que se protegieran las extremidades, se puede dar un plus especial a las órtesis mediante estas tecnologías.

Siempre es importante estar bajo la búsqueda de nuevos materiales y adaptación de los que se tienen para lograr mejoras fundamentales en los procesos, se debe buscar cada día medios que soporten las nuevas materias y sean apoyadas, como lo es el uso del filamento TPU flexible, un poliuretano termoplástico, esto nos abrió las puertas en la creación de estructuras ergonómicas ya que la implementación de estructuras solidas a comenzado a presentar falencias.

### Referencias

- Acero, L. (2019). *Prótesis semi-personalizada para perros en impresión 3D y fibra de carbono*. (Tesis de pregrado, Universidad del Bosque). Repositorio Institucional Unbosque.  
[https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2452/Acero\\_L%C3%A9on\\_Lilibeth\\_2019.pdf?sequence=1](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2452/Acero_L%C3%A9on_Lilibeth_2019.pdf?sequence=1)
- Alvarez, M., y Alzate, L. (2007). *Desarrollo de un sistema de desplazamiento para caninos con enfermedades en el tren posterior y su respectivo plan de negocios*. (Tesis de pregrado, Universidad EAFIT). Repositorio Institucional EAFIT.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/47245152.pdf>
- Alwafi, S. (2018). *Análisis de la información financiera y contable sobre la ejecución del presupuesto del ICBF regional Boyacá por la vigencia 2016*. (Trabajo de grado, Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia). Redalyc  
<https://www.redalyc.org/pdf/4795/479547210009.pdf>
- Aoife, H., Farmer, S., Anand, P., y Chockalingam, N. (2018). A systematic review of randomised controlled trials assessing effectiveness of prosthetic and orthotic interventions. *PLoS ONE*, 13(3), 1–42. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192094>
- Atehortúa, C., Gómez, L., y Orozco, S. (2007). La influencia de las mascotas en la vida humana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(1), 377–386.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a16.pdf>
- Barrios, J., Romero, F., Alonso, F., y Salgado, D. (2020). Advances in orthotic and prosthetic manufacturing: A technology review. *Materials*, 13(2) 37–38.  
<https://doi.org/10.3390/ma13020295>
- Constitución Política de Colombia [C.P.]. (2016). (21ª ed.). Legis.
- Evans, H., y Lahunta, A. (2013). Miller's anatomy of the dog-E-Book. *Elsevier Health Sciences.*, 1(2), 1–22. <https://www.elsevier.com/books/millers-anatomy-of-the-dog/hermanson/978-0-323-54601-0>
- Fernández, D. (2017, 1 de mayo). *Curso de SolidWorks 2017 Iniciación*.  
<https://www.udemy.com/course/curso-de-solidworks-cswa-introduccion-diego-gaona/>

- Galindo, V., Von Babo, V., Eberle, N., Betz, D., Nolte, I., y Wefstaedt, P. (2016). Kinetic, kinematic, magnetic resonance and owner evaluation of dogs before and after the amputation of a hind limb. *BMC Veterinary Research*, 12(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0644-5>
- Jeff Collins. (2022, 1 de agosto). *Orthotic Features*. <https://www.k-9orthotics.com/>
- Karl, S., Boch, M., Virányi, Z., Lamm, C., Huber, L. (2020). Training pet dogs for eye-tracking and awake fMRI. *Behavior Research Methods*, 52(2), 838–856. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01281-7>
- Karl, S., Boch, M., Virányi, Z., Lamm, C., y Huber, L. (2020). Training pet dogs for eye-tracking and awake fMRI. *Behavior Research Methods*, 52(2), 838–856. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7148272/>
- Landinez, D. (2021). *Diseño generativo para el desarrollo de órtesis de canes*. (Trabajo de grado para optar por el título Ingeniero Mecánico, Universidad de los Andes). Repositorio Uniandes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/55225/26033.pdf>
- Lee, S., Wendland, T. M., Rao, S., y Magee, C. (2021). Orthotic Device Use in Canine Patients: Owner Perception of Quality of Life for Owners and Patients. *Frontiers in Veterinary Science*, 25(1), 88–86. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.709364>
- Marshall, S., Schaeb, F. S., Gaugg, A., Meinert, A., Deschner, T., Range, F. (2019). The role of oxytocin in the dog–owner relationship. *Animals*, 9(10), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ani9100792>
- Mostafa, A. A., Lucas, K., Nolte, I., y Wefstaedt, P. (2016). Radiographic evaluation of early periprosthetic acetabular bone contrast and prosthetic head acetabular coverage after uncemented and cemented total hip prosthesis in dogs. *BMC Veterinary Research*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0900-8>
- Murakami, S., Harada, Y., Hara, Y. (2021). Alterations in the ground reaction force of dogs during trot after immobilization of the stifle joint: An experimental study. *Journal of Veterinary Medical Science*, 83(2), 297–303. <https://doi.org/10.1292/jvms.20-0249>
- Palacios, A. (2021, Julio 6). *Blender el software que convertirá tus ideas en 3D*. <https://www.crehana.com/blog/estilo-vida/que-es-blender/>

- Pardo, M. (2017). Diseño de una prótesis canina para extremidades delanteras. (Trabajo de grado para optar por el título Ingeniero Diseño mecánico, Universidad de Navarra). Repositorio Unavarra <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/24608>
- Pascual, C. (2021, 23 de noviembre). *Partes de las patas de un perro*. <https://www.expertoanimal.com/partes-de-las-patas-de-un-perro-25754.html>
- Platas, A. (2020, 14 de mayo). *Diccionario de términos literarios*. <https://libreriaaurea.com/es/2297-diccionario-de-terminos-literarios-platas-tasende-ana-maria-9788467025224.html>
- Purewal, R., Christley, R., Kordas, K., Joinson, C., Meints, K., Gee, N., y Westgarth, C. (2019). Socio-demographic factors associated with pet ownership amongst adolescents from a UK birth cohort. *BMC Veterinary Research*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-2063-x>
- Rivas, N., Santa, V., Bent, N. (2017). *Familias Y Mascotas: Una Construcción Relacional en Torno a la Tenencia y Cuidado de Caninos Adoptados*. (Trabajo de grado para optar al título de Trabajadora Social, Universidad de Antioquia) Biblioteca digital UDEA. [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/14022/1/RivasNatalia\\_2017\\_FamiliaMascotasConstruccion.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/14022/1/RivasNatalia_2017_FamiliaMascotasConstruccion.pdf)
- Rodríguez, C., Cristina, D., Murillo, G., y Ximena, A. (2014). Las competencias emprendedoras en el departamento de Boyacá. *Revista Apuntes Del CENES*, 33(58), 217–242. <https://www.redalyc.org/pdf/4795/479547210009.pdf>
- Rodríguez, S. (2020). Diseño, análisis e implementación de una prótesis de extremidad delantera canina. *Universidad Politécnica de Valencia*, 1(1), 1–60. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/>
- Rojas, J. (2019). Diseño de Ortopedia para rehabilitación y adaptación para caninos. *Escuela de diseño de Objetos*. 5(5), 1–80. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4759>
- Rubio, A. (2021). *Diseño de órtesis económica para perros con displasia de cadera, con tecnología disponible en el contexto guatemalteco*. (Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar). Studylib. <https://studylib.es/doc/5397368/dise%C3%B1o-de-%C3%B3rtesis-econ%C3%B3mica-para-perros-con-displasia-de->

- Sabater. (2019). *Diseño y cálculo de una prótesis canina*. (Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Valencia). Repositorio Riunet <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/125881/Sabater%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20c%C3%A1lculo%20de%20una%20pr%C3%B3tesis%20canina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez. (2018, 13 de febrero). *Recorrido por la historia de la Universidad de Boyacá, sede Tunja*. <https://www.boyacaradio.com/noticia.php?id=17610>
- Telfer, S., Pallari, J., Munguia, J., Dalgarno, K., McGeough, M., y Woodburn, J. (2012). Embracing additive manufacture: Implications for foot and ankle orthosis design. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-84>
- Turcsán, B., Wallis, L., Virányi, Z., Range, F., Müller, C. A., Huber, L., y Riemer, S. (2018). Personality traits in companion dogs Results from the VIDOPET. *PLoS ONE*, 13(4), 1–27. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195448>
- Wallis, L. J., Range, F., Kubinyi, E., Chapagain, D., Serra, J., y Huber, L. (2017). Utilising dog-computer interactions to provide mental stimulation in dogs especially during ageing. *ACM International Conference Proceeding Series*, 183(9), 1–22 <https://doi.org/10.1145/3152130.3152146>
- Yamamoto, M., y Hart, L. A. (2019). Professionally- And self-trained service dogs: Benefits and challenges for partners with disabilities. *Frontiers in Veterinary Science*, 7(1), 1 – 15. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00179>