



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño conceptual de prótesis
para extremidad posterior canina**

TESINA

Que para obtener el título de

Ingeniera Industrial

P R E S E N T A N

Diana Paola Mendoza Pacheco

Alejandra Águila Reyes

DIRECTOR DE TESINA

Dr. Jesús Manuel Dorador González



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

Agradecimientos

Realmente no tengo las palabras para agradecer a cada una de las personas que me han acompañado durante este camino.

Principalmente a mis padres, Tete y Auu por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi formación, tanto académica, como de la vida, por su esfuerzo en concederme la oportunidad de estudiar y por su constante apoyo a lo largo de mi vida. Gracias por todo lo que me han brindado para poder crecer de esta manera, no hay duda que los amo con todo mi corazón y soy la persona más afortunada de tenerlos como padres.

A mi hermano Diego, agradezco que a pesar de todos esos buenos y malos momentos que hemos pasado, sabes que siempre podrás contar conmigo.

A Julio, el hombre de mi vida, agradezco tanto todo el apoyo que me has brindado durante estos años, tanto académicos como personales. Gracias por apoyarme en cada decisión y ayudarme a ser mejor persona cada día sin importar las adversidades de la vida. Sabes que te amaré toda la vida.

A Katty, mi amiga desde la prepa que sin su ayuda la carrera hubiera sido más pesada y un poco triste, ya que siempre nos reíamos y siempre me alegrabas los días pesados. Gracias por ese apoyo tan incondicional, sabes que es recíproco.

A Ale por haber sido mi compañera en este proyecto tan largo, en el cual hubo días malos, buenos y confusos, pero a pesar de eso siempre lo supimos sobrellevar y se pudo sacar adelante. Y fuera del proyecto gracias por esos consejos sobre la vida.

Al doctor Dorador por su apoyo durante este proyecto, que en los momentos difíciles estuvo ahí para ayudarnos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de poder realizar mis estudios profesionales, así como los profesores que me ayudaron en este camino y a mis compañeros de carrera que en algún momento me brindaron su apoyo.

Gracias a todos aquellos que no están aquí, pero me ayudaron a que este esfuerzo se volviera realidad.

Mendoza Pacheco Diana Paola

A mi madre, el Pilar más grande de toda mi vida, la cual es y será siempre mi motor para luchar por superarme todos los días. Gracias por todo tu esfuerzo, por siempre ser una gran guerrera y darme tu amor incondicional.

A mis abuelos, Álvaro y Josefina, quiénes siempre han confiado en mí y sin todo su amor, cariño y apoyo, no hubiera llegado hasta aquí, gracias por iluminar mi vida.

A mi hermana, Gaby, por los constantes consejos y por su apoyo, pese a todas las adversidades siempre estás presente.

A mi familia Reyes, por creer en mí. En especial a Norma, Leticia, Rocío, Álvaro y Jorge, gracias por todo lo vivido, por guiar mi camino para hacerme un mejor ser humano, y también a mis primos por haberme apoyado en cada una de las etapas de mi vida, por estar presentes en épocas difíciles y por celebrar siempre junto a mí los buenos momentos. Los amo con todo mi corazón.

A mis amigas que me han acompañado desde hace muchos años y han estado presentes en todo momento, a pesar de los años y las adversidades nos mantenemos unidas, gracias por todo niñas.

A Rodrigo, por ser el mejor compañero en esta etapa, sin ti la Universidad no hubiera sido igual, gracias por tu apoyo incondicional, por enseñarme a disfrutar la vida en todo momento y situación.

A Paola, mi pareja en esta gran aventura, gracias por tu amistad y la confianza, gracias por formar parte de este proyecto y afrontar las adversidades juntas.

Al Dr. Jesús Manuel Dorador González, por sus enseñanzas, paciencia y apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto, y en especial por todas las palabras de aliento y motivación en los momentos más complicados.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma máter, por abrirme las puertas del conocimiento, desde mi formación preparatoria, dentro de la ENP No. 6 "Antonio Caso", para posteriormente ingresar a mi adorada Facultad de Ingeniería, gracias por permitirme ser alumna suya y dejarme vivir los mejores momentos de mi vida, que no cambiaría por nada del mundo, las llevaré en el corazón siempre, porque me dieron la oportunidad de estar entre sus aulas y formarme como Ingeniera.

A mis amigos con los que viví y compartí experiencias inolvidables, durante mi estancia en la Facultad, todos ellos tienen nombres y apellidos, pero sería difícil nombrarlos a todos, o por decirlo de otra manera excluir a alguien, todos ellos saben de quiénes hablo, nunca los olvidaré.

Águila Reyes Alejandra

Índice

Introducción.....	5
Capítulo 1. Antecedentes	6
1.1. Amputación	6
1.2 Dispositivos Ortopédicos	10
1.3 Rehabilitación	14
Capítulo 2. Estudio del caso.....	17
2.1 Justificación.....	17
Capítulo 3. Proceso de Diseño.....	20
Capítulo 4. Análisis de Necesidades	22
Capítulo 5. Diseño conceptual	24
5.1. Componentes de la prótesis: Socket, caña protésica, acoplamiento mecánico y arnés textil	24
Capítulo 6. Justificación de la prueba de concepto	42
6.1. Cálculos.....	42
6.2. Selección de materiales	43
Capítulo 7. Manufactura de la prueba de concepto elegida	46
Capítulo 8. Resultados y Conclusiones.....	49
Capítulo 9. Trabajo a futuro.....	51
Bibliografía	52
Apéndice A.....	53

Introducción

En este trabajo se presenta el proceso y los resultados obtenidos al realizar diversas pruebas de concepto que fueron implementadas con la finalidad de determinar cuál sería la vía más adecuada para manufacturar una prótesis posterior canina funcional.

En el capítulo 1 se encuentran los antecedentes a este trabajo donde se hallan conceptos básicos de las amputaciones y prótesis caninas. En el capítulo 2 se plantea el estudio de caso, es decir, se presenta la historia clínica y el objetivo de nuestro proyecto. En el capítulo 3 se realiza el proceso de diseño, donde se describe la metodología que se utilizará, mientras que en el capítulo 4 se estudian las necesidades básicas que debemos cubrir para mejorar la calidad de vida de Gala. En el capítulo 5 se encuentra el diseño conceptual, en el cual se mencionan los componentes que constituirán la prótesis y las pruebas que se harán de cada uno. Posteriormente, en el capítulo 6, tenemos la justificación de la prueba de concepto que se eligió mediante matrices de decisión al evaluar las diferentes características de cada prueba. En el capítulo 7 se presenta la manufactura de la prueba de concepto con los materiales elegidos previamente. En el capítulo 8 se presentan los resultados y conclusiones que se han obtenido. Finalmente, en el capítulo 9 se manejan las posibles opciones para un trabajo a futuro.

Capítulo 1. Antecedentes

En esta sección se presentará lo que es una amputación, específicamente en caninos, así como las causantes de las mismas y sus consecuencias. Además, se presentan las posibles soluciones para mejorar la movilidad del animal a través de diferentes tipos de aditamentos.

1.1. Amputación

La amputación es un acto de intervención quirúrgica para separar un miembro, o parte del mismo por medio de un instrumento cortante, siempre y cuando alguna condición de un miembro ponga en riesgo la vida del paciente o se vea comprometida una futura curación del paciente, entonces el miembro debe ser amputado, por ende, se considera un procedimiento de salvamento.

1.1.1 Causas para realizar una amputación

Las principales causas de amputación en perros son:

- Neoplasias no extirpables: Como se muestra en la Figura 1, es un tumor en el cual hay una formación anormal de un tejido nuevo de carácter tumoral y deben de ser evaluados tanto en su tipo como en su grado de metástasis, para determinar si es benigno o maligno. Solamente el tejido maligno es canceroso.



Figura 1. Neoplasia en extremidad.

Fuente: <https://www.cimformacion.com/blog/veterinaria/amputaciones-de-extremidades-en-perros-prevencion-causas-cirugia-y-cuidados/>

- Costras de tejido que se forman secundariamente generando una infección.
- Infección aguda y fulminante que amenaza con invalidar otras regiones del cuerpo.

- **Traumatismos con graves lesiones:** Se define como traumatismo aquella lesión o daño de los tejidos orgánicos, o de los huesos, producido por algún golpe o un factor externo. Es un trauma agudo cuyo daño es muy extenso que no se espera poder restaurar la función del miembro, se pueden desarrollar en peleas, caídas de altura, heridas por armas de fuego o algún accidente de tránsito, como se observa en la Figura 2.

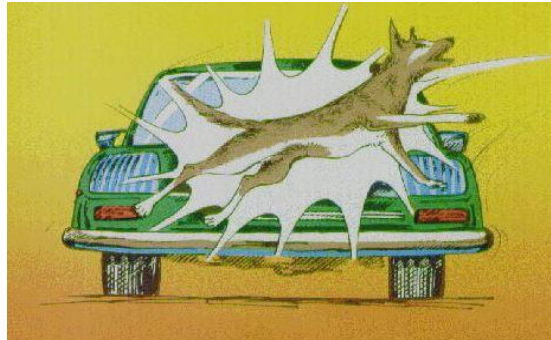


Figura 2. Traumatismo: atropellamiento de un perro.

Fuente: <http://perros.mascotia.com/cuidados-del-perro/cuidados-basicos/los-accidentes.html>

- **Necrosis isquémica:** La figura 3 muestra la muerte del tejido óseo debido a la falta de suministro de sangre. El aporte sanguíneo del miembro se encuentra destruido por lo que los tejidos morirán por anoxia.



Figura 3. Necrosis en caninos.

Fuente: <https://dovet.es/curacion-herida-perro-terapia-laser/>

- **Osteomielitis crónica:** Inflamación del hueso causada por una infección, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Osteomielitis crónica.

Fuente: <http://argos.portalveterinaria.com/noticia/7693/articulos-archivo/reparacion-de-fracturas-radio-cubitales-y-complicaciones.html>

- Parálisis o lesiones neurológicas de magnitud: Es cuando existe un daño nervioso del miembro, por ende, la comunicación entre la médula espinal y el cerebro ha sido interrumpida (Ver figura 5).



Figura 5. Parálisis.

Fuente: <http://perrito.info/marque-paralisis-los-sintomas-en-los-perros-2.html>

- Deformaciones congénitas de miembro: Anomalías desde el nacimiento (Ver figura 6).



Figura 6. Anomalía congénita.

Fuente: <https://makia.la/bonsai-el-perro-bulldog-que-no-tiene-patas-traseras/>

1.1.3. Nivel de amputación

No todos los perros son buenos candidatos a la amputación de una extremidad. Debemos tener en cuenta el peso corporal, las proporciones de la raza y la anatomía del perro (Ver figura 7).

Los perros de cuerpo alargado y patas cortas (e.g. Basset Hound, Dachshund, Bull Dog inglés/francés, teckels) tienen una capacidad limitada para cambiar su centro de gravedad y pasan grandes dificultades al caminar en tres patas.

En los pequeños animales se realiza la amputación alta de la extremidad, ya que no hay opción al uso de prótesis ortopédica o al menos las opciones son limitadas y, además, si el miembro amputado queda excesivamente largo el animal pretenderá

apoyarse sobre él mientras se adapta a su nueva condición y esto provocará lesiones crónicas sobre el muñón y heridas difíciles de tratar.¹

Los perros de talla mediana a pequeña y de constitución normal, se adaptan bien, por ende, cuando la lesión traumática se localiza en la parte inferior del miembro, la amputación debe realizarse a nivel del fémur, si la lesión afecta la zona del fémur se tiene que realizar la amputación de alta extremidad (coxofemoral).

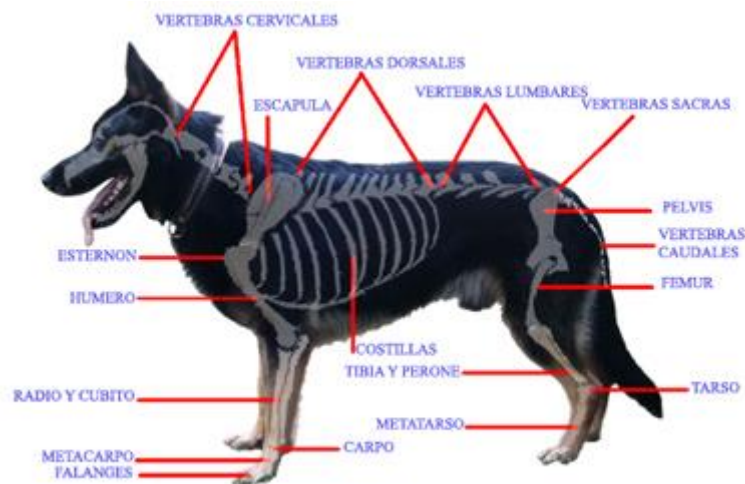


Figura 7. Anatomía del perro.

Fuente: <http://www.adiestramientodeperros.com/anatomia.html>

1.1.4. Consecuencias

Durante el intervalo entre la lesión y la amputación, para evitar la contracción muscular, el miembro debe manejarse con terapia física y para prevenir la infección se deben suministrar antibióticos. Si el cirujano está convencido de que el daño al nervio es permanente pueden considerarse otros métodos de manejo como la tonificación y el uso de dispositivos ortopédicos que ayuden al paciente a recuperar su calidad de vida.

¹ Prof. José Luis Morales López, Anatomía aplicada de los pequeños animales. Curso 2003/2004 Consultado 4 Septiembre 2017, de: http://www.uco.es/organiza/departamentos/anatomia-y-anat-patologica/peques/curso01_05/amputacion.pdf

1.2 Dispositivos Ortopédicos

1.2.1. Prótesis

Es un dispositivo diseñado para reemplazar una parte faltante del cuerpo o para hacer que una parte del cuerpo trabaje mejor. Los ojos, los brazos, las manos, las piernas o las articulaciones faltantes o enfermas pueden ser reemplazados por dispositivos protésicos.²

Clasificación

- Permanente Externa

Se realiza mediante oseointegración, lo cual permite sujetar los implantes en extremidades sin fricción o irritación (Ver Figura 8).



Figura 8. Prótesis de titanio, realizada en la Universidad de North Carolina State, Raleigh.
Fuente: http://www.lareserva.com/home/pata_artificial_perro

- Mecánica

Las prótesis mecánicas como se observa en la Figura 9, constan de dispositivos de sujeción que permiten la unión al cuerpo y al lado contrario al muñón, este tipo de prótesis son funcionales, pero con unas limitaciones de movimiento.



Figura 9. Prótesis elaborada por el Fondo de Bienestar Animal en Melbourne.
Fuente: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2217972/Pug-whos-learning-walk-fitted-prosthetic.html>

² Linda J. Vorvick, MD, Medical Director and Director of Didactic Curriculum, MEDEX Northwest Division of Physician Assistant Studies, Department of Family Medicine, UW Medicine, School of Medicine, University of Washington. Also reviewed by A.D.A.M. Health Solutions, Ebix, Inc., Editorial Team: David Zieve, MD, MHA, David R. Eltz, Stephanie Slon, and Nissi Wang.

- Articulada

Se conserva la anatomía natural y permite que las articulaciones sean similares a las de un miembro natural. Se necesita de rehabilitación para que el perro se acostumbre a ella (Ver Figura 10).



Figura 10. Prótesis articulada, elaborado por académicos de la Universidad del Valle de México.
Fuente: <https://sipse.com/ciencia-y-salud/academicos-mexicanos-protesis-articuladan-3d-perro-uvv-188283.html>

- Mioeléctricas

Las prótesis mioeléctricas son una adaptación de las prótesis mecánicas que tienen aditamentos eléctricos que hacen posible el control muscular. Para lograr esto existen diferentes tipos de sensores que son los encargados de tomar las señales musculares del paciente y enviarlas a un sistema electrónico encargado de realizar los movimientos. Entre estos sensores se encuentran los electrodos, sensores de cambio de volumen muscular, sensores de tacto, sensores comparadores de frecuencia.

1.2.2. Órtesis

Como se muestra en la Figura 11, es un dispositivo ortopédico aplicado al soporte, alineamiento, prevención o corrección de deformidades, se utiliza para mejorar la función de apéndices móviles del cuerpo.³



Figura 11. Órtesis de codo, elaborado por la empresa española, OrtoCanis.
Fuente: https://www.ortocanis.com/es/ayudas-tecnicas/17-ortesis-codo.html?search_query=ortesis&results=7

³ Miller-Keane Encyclopedia and Dictionary of Medicine, Nursing, and Allied Health, Seventh Edition. (2003).

Métodos de Sujeción

Plantillas con correas ajustables y/o bandas de metal o plástico para dar más rigidez a la órtesis.

Adaptación y Rehabilitación

La órtesis personalizada debe ser usada en incrementos cortos y crecientes para construir una tolerancia al dispositivo. Tanto la duración del periodo de interrupción como el tiempo de cada incremento dependerá del diagnóstico de cada paciente y deberán ser discutidos con el médico correspondiente.

1.2.3 Ortoprótisis

Dispositivos utilizados para la corrección de deformidades del sistema musculoesquelético.⁴

Clasificación

- Férulas Ortopédicas

Las férulas caninas son útiles tanto en problemas neurológicos (para posicionar correctamente la extremidad), como en problemas traumatológicos (para dar soporte e inmovilizar). Se usan para el tratamiento de fracturas y otras lesiones en miembros distales (Ver Figura 12).



Figura 12. Férula de bota elaborado por la empresa española, Ortopedia Canina.
Fuente: <http://ortopediacanina.com/es/ferulas-y-ortesis/120-ferula-de-bota-canina-.html>

- Arnés

Los arneses son útiles para perros con displasia de cadera, artrosis de cadera, debilidad muscular e incoordinación motora. Diseñado para rehabilitación canina específicamente para el control del paciente después de la operación y como un

⁴ Miller-Keane Encyclopedia and Dictionary of Medicine, Nursing, and Allied Health, Seventh Edition. (2003).

dispositivo de ayuda para perros ancianos o con problemas de artrosis (Ver Figura 13).



*Figura 13. Soporte de cadera elaborado por la empresa española, OrtoCanis.
Fuente: <https://www.ortocanis.com/es/ayudas-tecnicas/128-soporte-de-cadera.html>*

1.2.4. Silla de ruedas (Carros de Paseo)

Devuelven la movilidad y la autonomía cuando existen disfunciones en las extremidades traseras. Esto mejora no sólo el estado físico sino también su actitud y salud mental. Las situaciones más comunes en las que usamos sillas de ruedas son en displasia de cadera, artrosis, hernia discal, déficits propioceptivos, como auxiliar durante la rehabilitación o para poder inmovilizar las extremidades posteriores después de una cirugía.

Clasificación

- Auxiliar

Se utiliza en perros con movilidad reducida en las extremidades posteriores. El animal tendrá un apoyo para mover él mismo sus patas con libertad. Asegura su autonomía y evita la pérdida de masa muscular y la anquilosis por desuso prolongado. Permite la recuperación de la movilidad (Ver Figura 14).



*Figura 14. Silla de ruedas ajustable elaborado por la empresa española, OrtoCanis.
Fuente: <https://www.ortocanis.com/es/home/103-sillas-de-ruedas-para-perros.html>*

- Apoyo total

Como se observa en la Figura 15, es un soporte total del tren posterior en perros paralíticos. Asegura su autonomía y evita úlceras en la piel debido al apoyo permanente sobre la cama o el suelo. Dependiendo de la lesión el perro puede llegar a recuperar la movilidad, ya que aumentamos la actividad del perro y permitimos que pueda intentar hacer movimientos con sus patas.



Figura 15. Silla de ruedas elaborado por la empresa mexicana, Car-can.
Fuente: <http://www.car-can.com.mx/car/index.php/galeria>

1.3 Rehabilitación

La amputación es una intervención médica que se realiza con el fin de reducir la invalidez, debido a la extirpación de extremidades y que tiene como objetivo mejorar la calidad de vida del paciente.

Actualmente, el tratamiento del paciente amputado abarca no solo la cirugía, sino también la rehabilitación que es vital para la restauración de la función y el ajuste de un miembro artificial.

El tratamiento global del amputado debe considerarse como un proceso dinámico continuo, que comienza en el momento de la lesión y continúa hasta que el paciente es capaz de realizar las actividades esenciales de la vida diaria sin mayores complicaciones. Es responsabilidad del profesional que prescribe, determinar las dosificaciones y el mejor tratamiento para cada caso.

El apartado siguiente se enfocará sobre el tratamiento rehabilitador a través de los ejercicios físicos.

1.3.1 Técnicas utilizadas en Fisioterapia⁵

➤ Masaje

Es el primer paso para detener el círculo del dolor, ya que a menudo el dolor y el esfuerzo producen una tensión muscular que reduce el aporte sanguíneo a la región afectada, esta condición conlleva un menor aporte de oxígeno a los músculos e impide la eliminación de los productos metabólicos de desecho.

➤ Ejercicios Terapéuticos

Se aplican, tanto inmediatamente después de la cirugía, como en el tratamiento de condiciones crónicas. Con ellos se consigue disminuir el dolor, acortar el tiempo de recuperación y mejorar el movimiento de los músculos y de las funciones articulares, así como favorecer los estiramientos de las masas musculares afectadas.

Se clasifican en:

▪ Ejercicios Pasivos

Son muy útiles en las sesiones iniciales de los pacientes sometidos a intervenciones neurológicas, hernias discales, también en traumatismos musculoesqueléticos graves y cirugías ortopédicas (Ver Figura 16). Dentro de los cuales se encuentran: Estiramientos, ejercicio de reflejo flexor, movimiento de bicicleta en decúbito lateral o en estación, los cuales pueden ser aplicados en canes.



Figura 16. Estiramientos en caninos.

Fuente: <http://vidanaturalanimal.com/fisioterapia-para-animales/>

▪ Ejercicios Terapéuticos Asistidos (AsTE)

Son ejercicios asistidos de pie. Se aplican en pacientes que tienen fuerza suficiente para soportar parcialmente su peso, pero que están demasiado débiles para sostener el peso total de su cuerpo. Su fin es mejorar la fuerza y resistencia, la propiocepción

⁵ Ruiz. P. Miguel. Rehabilitación y fisioterapia canina, INTER. Médica. 1a. Ed. (2011).

y las habilidades neuromusculares para preparar al paciente para ejercicios más activos (Ver Figura 17). Por ejemplo: Desviación del peso, tabla de balanceo, flexión, extensión y movimientos laterales de la región pélvica.



Figura 17. Ejercicio propiocepción en perros.

Fuente: <http://hvcruzdepiedra.com/la-rehabilitacion-en-perros-y-gatos-en-procesos-ortopedicos-en-hospital-veterinario-cruz-de-piedra-tenerife/>

- **Ejercicios Terapéuticos Activos (AcTE)**

Como se observa en la Figura 18, son actividades voluntarias que ayudan al animal a ganar fuerza y recuperar funciones debilitadas. Por ejemplo: Paseos lentos, caminadora, subir escaleras, carretilla, sentarse y levantarse.

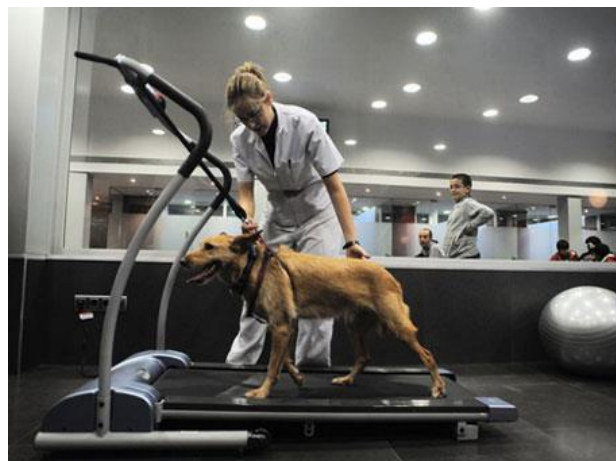


Figura 18. Terapia activa en caminadora.

Fuente: <http://www.hvmontjuic.com/categoria/es/metodos/47/>

Capítulo 2. Estudio del caso

2.1 Justificación

Objetivo general

En este trabajo se presenta la investigación, diseño conceptual y manufactura de pruebas de concepto de una prótesis del miembro posterior para perro que aporten mejoras en su movilidad y autonomía.

Alcance

Diseñar un modelo funcional con geometría similar al miembro posterior no amputado, que cumpla con las siguientes características:

- Fácil de usar
- Segura
- Resistente
- Cómoda

Metas

Obtener un modelo funcional, con el cual se pueda idear la realización de una prótesis canina y que, deseablemente, pueda ser extrapolada a otros casos de condiciones similares.

2.2. Historia clínica del paciente

Nombre del paciente: *Gala*

Peso: *18 kg.*

Edad: *1 año 8 meses.*

Raza: *Cruza de pastor alemán y pastor belga*

Nombre de la dueña: *María Fernanda Galán*

Ocupación de la dueña: *Estudiante de la UNAM en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*

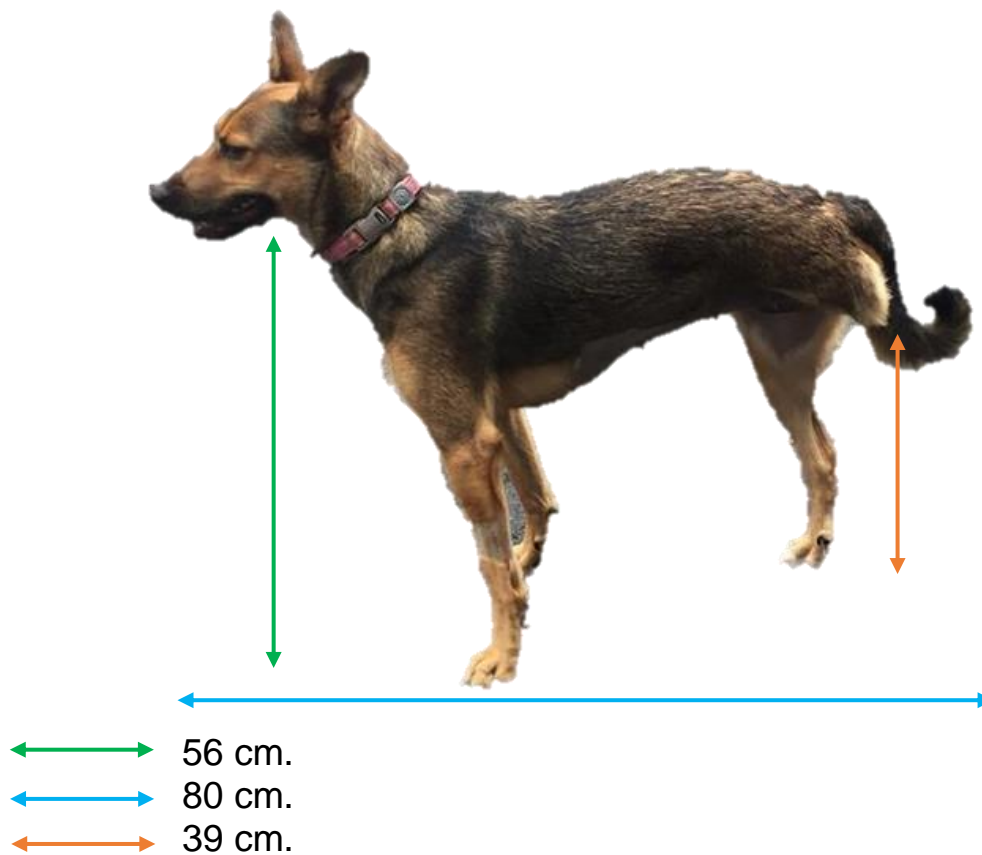
Gala presentó un trauma que le generó la pérdida de su miembro posterior izquierdo, debido a que éste se le atoró en una reja eléctrica y se le tuvo que realizar una amputación desde la articulación coxofemoral.

Gala no presenta problemas para orinar y defecar. Puede correr, brincar, subir y bajar escaleras. Sin embargo, presenta inseguridad en terrenos mojados y lisos, ya que tiene muy poca estabilidad, además se cansa con facilidad. En alturas pronunciadas sí requiere ayuda para subir.



Fotografía 1. Paciente 'Gala'.

2.2.1. Medidas



- ←→ 56 cm.
- ←→ 80 cm.
- ←→ 39 cm.

2.2.2. Objetivo particular

Diseñar un modelo funcional que brinde soporte a Gala. Aunque por su edad aparentemente no la necesita. Actualmente, la postura del miembro posterior no es la adecuada, se requiere dejar de prolongar el daño que se está generando por el sobreesfuerzo que realiza, ya que debido a la cruce de razas de la cual proviene, es muy probable que presente problemas de cadera y espalda a futuro.

2.2.3 Expectativas

Generar un buen soporte para Gala, que le ayude a tener mayor estabilidad y así evitar continuar con el desgaste de su otro miembro. No es importante que sea estética, mientras sea funcional.

Capítulo 3. Proceso de Diseño

Como se observa en la Figura 19, este proceso se divide en varias etapas:

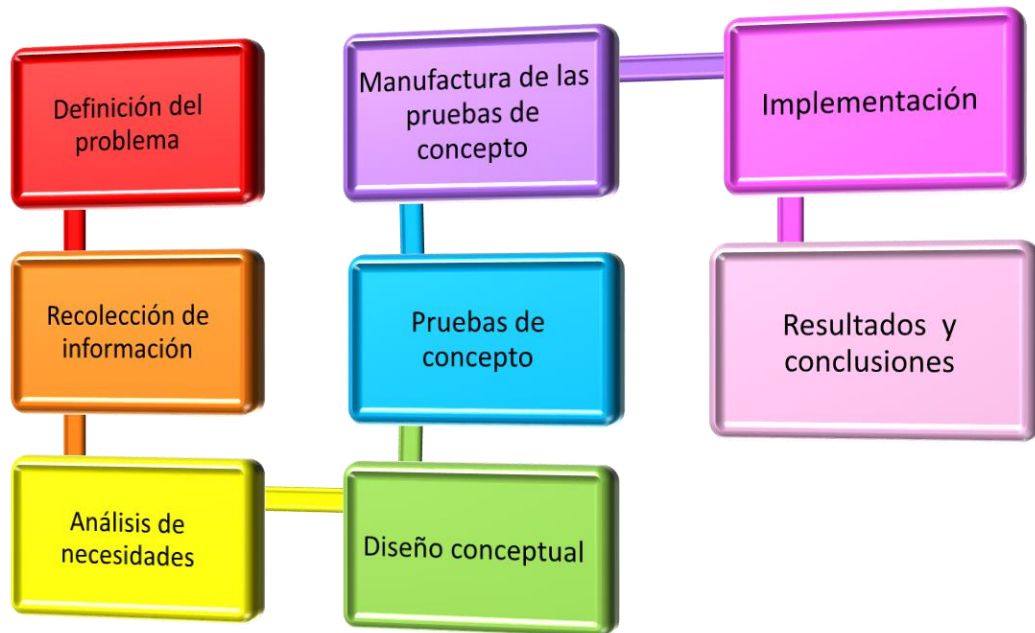


Figura 19. Proceso de diseño.

Definición del problema

El problema se centró en que las malformaciones genéticas y accidentes, son algunas de las causas para que perros, gatos, caballos y otros animales pierdan la movilidad y, a consecuencia de ello, sean sacrificados.

El principal interés que motiva este proyecto es ayudar a Gala para que pueda realizar sus actividades de manera regular con la ayuda de un modelo funcional.

Recolección de información

Realizada la definición del problema, posteriormente se realizó un formato para recaudar información pertinente y se le mandó por correo electrónico a cada dueño de los candidatos a paciente.

Análisis de Necesidades

Mediante dicho análisis se identificaron los posibles problemas que afectan la calidad de vida de la paciente y se propusieron demandas primarias, secundarias y terciarias que deben ser atendidas mediante la propuesta del modelo funcional para asegurar la satisfacción de la paciente.

Diseño Conceptual

Al tener los resultados del análisis de necesidades, se delimitó cómo debían proseguir las pruebas a realizar. Identificando factores críticos que nuestro modelo debe contener.

Pruebas de Concepto

Se idearon diversas propuestas, de las cuales, mediante una evaluación se determinó cuál de las mismas podría adaptarse mejor a las condiciones físicas de la paciente.

Manufactura de las pruebas de concepto

En este paso, nos enfocamos en la elaboración de cada una de las pruebas de concepto propuestas anteriormente, ocupando diversas técnicas con el fin de mejorar el modelo funcional.

Implementación

Se realizaron las pruebas de las piezas manufacturadas previamente para observar el comportamiento de la paciente y, con ello, realizar las modificaciones, en caso de ser necesarias, para lograr el mejor modelo funcional posible.


Resultados y Conclusiones

A manera de conclusión, analizaremos si nuestro diseño cumplió con el objetivo inicialmente establecido de aplicar los conocimientos adquiridos para diseñar a nivel conceptual una prótesis canina. Se hacen observaciones sobre el trabajo realizado y se plantean propuestas para trabajo a futuro.

Capítulo 4. Análisis de Necesidades

Para poder diseñar una prótesis de miembro posterior que se adapte correctamente al paciente, se diseñará cada pieza a modo que permita, mediante la combinación de estas, la fabricación de una prótesis.

Como conclusiones para el diseño, debe ser fácil de colocar, de usar, de mantener y que sea adaptable para el ambiente. Teniendo siempre en cuenta la estética y la funcionalidad. Además, de una comodidad que le permita al paciente realizar todas las funciones motoras básicas.

<p>Prótesis canina</p>	 <p><i>Figura 20. Prótesis canina.</i> Fuente: http://doctordeanimales.info/principal/nuestros-servicios/</p>									
<p>DEMANDAS PRIMARIAS</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="496 1099 919 1193"> <p>DEMANDAS SECUNDARIAS</p> </td> <td data-bbox="919 1099 1128 1193"> <p>DEMANDAS Terciarias</p> </td> </tr> </table>		<p>DEMANDAS SECUNDARIAS</p>	<p>DEMANDAS Terciarias</p>						
<p>DEMANDAS SECUNDARIAS</p>	<p>DEMANDAS Terciarias</p>									
<p>Fácil de usar</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="496 1305 818 1400"> <p>Fácil de colocar</p> </td> <td data-bbox="818 1305 1297 1400"> <p>Rápida colocación. Poco estorbosa.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="496 1400 818 1464"> <p>Fácil de mantener</p> </td> <td data-bbox="818 1400 1297 1464"> <p>Fácil de limpiar.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="496 1464 818 1561"> <p>Fácil de transportar</p> </td> <td data-bbox="818 1464 1297 1561"> <p>Ligera. Acceso a espacios pequeños.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="496 1561 818 1794"> <p>Adaptable al ambiente</p> </td> <td data-bbox="818 1561 1297 1794"> <p>Se pueda usar en terrenos planos. Se pueda usar en pasto. Se pueda usar en tierra. Se pueda usar en piso liso. Se pueda usar en grava. Se pueda usar en alfombra.</p> </td> </tr> </table>		<p>Fácil de colocar</p>	<p>Rápida colocación. Poco estorbosa.</p>	<p>Fácil de mantener</p>	<p>Fácil de limpiar.</p>	<p>Fácil de transportar</p>	<p>Ligera. Acceso a espacios pequeños.</p>	<p>Adaptable al ambiente</p>	<p>Se pueda usar en terrenos planos. Se pueda usar en pasto. Se pueda usar en tierra. Se pueda usar en piso liso. Se pueda usar en grava. Se pueda usar en alfombra.</p>
<p>Fácil de colocar</p>	<p>Rápida colocación. Poco estorbosa.</p>									
<p>Fácil de mantener</p>	<p>Fácil de limpiar.</p>									
<p>Fácil de transportar</p>	<p>Ligera. Acceso a espacios pequeños.</p>									
<p>Adaptable al ambiente</p>	<p>Se pueda usar en terrenos planos. Se pueda usar en pasto. Se pueda usar en tierra. Se pueda usar en piso liso. Se pueda usar en grava. Se pueda usar en alfombra.</p>									
<p>Segura</p>	<p>Buena sujeción al muñón. No tóxica. Que no lastime los dientes del perro si es mordida.</p>									

Resistente	Resistente a cargas	Debe aguantar aproximadamente 25 kg.			
	Resistente a deformaciones	Debe conservar su forma a pesar de ser mordida.			
	Resistente al ambiente	<table border="1"> <tr> <td>Impermeable</td> <td>Resistente a salpicaduras. Resistente a chorros de agua. Resistente a sumersión.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Protección contra el ingreso de polvo.</td> </tr> </table>	Impermeable	Resistente a salpicaduras. Resistente a chorros de agua. Resistente a sumersión.	Protección contra el ingreso de polvo.
Impermeable	Resistente a salpicaduras. Resistente a chorros de agua. Resistente a sumersión.				
Protección contra el ingreso de polvo.					
Cómoda	Permitir movilidad	Caminar. Hacer del baño.			
	No generar molestias	Ventilación. No acalorar. No enfriarse demasiado. No rozar la piel. Silenciosa.			

Tabla 1. Análisis de Necesidades

Con dichos atributos, se puede lograr una prótesis integral que considere las necesidades del paciente, tanto estéticas como funcionales, así como la mayor de las facilidades para la encargada del paciente.

Capítulo 5. Diseño conceptual

El proceso de diseño conceptual consiste, esencialmente, en solucionar los problemas que surgen al plantear ciertas especificaciones, requisitos y necesidades sobre un diseño dado.

La conceptualización del trabajo se fundamenta en el resultado de una definición del producto, guiada por la especificación y los requisitos.

El objetivo consiste en generar conceptos de los componentes de una prótesis y realizar las pruebas de concepto que nos permitan probar una serie de soluciones alternativas con la finalidad de seleccionar la más adecuada.

5.1. Componentes de la prótesis: Socket, caña protésica, acoplamiento mecánico y arnés textil

En general, en el campo de manufactura de las prótesis, se pueden emplear diversos materiales⁶:

- **Madera.** Usualmente utilizada en prótesis posteriores para proveer forma y estructura.
- **Cuero.** Ampliamente utilizado para arneses, cinturones y revestimiento de sockets.
- **Tela/Paño.** Se utiliza comúnmente como calcetines protésicos, correas, cinchos y arneses.
- **Plásticos.** Pueden utilizarse en cualquiera de los componentes de la prótesis, arneses, sockets y hasta para dar estructura, dependiendo de las características de cada material, entre los más comunes se encuentran: nylon, acrílico, poliéster, polipropileno, polietileno, poliuretano, siliconas.
- **Fibras.** Tanto de carbono como de vidrio, son muy utilizadas en la fabricación de prótesis.

⁶ Quigley, M. (2018). 4: *Prosthetic Management: Overview, Methods, and Materials* | O&P Virtual Library. *Oandplibrary.org*. Consultado 21 Febrero 2018, de <http://www.oandplibrary.org/alp/chap04-01.asp>

5.1.1. Definición de socket

Hueco en el que encaja una parte del muñón y sirve como interfaz entre el paciente y la prótesis. Pueden ser fabricados de un sinnúmero de materiales, pero todos ellos deben de cumplir con requerimientos especiales: biocompatibilidad, esfuerzo, durabilidad, ligeros y fáciles de fabricar.

Para elegir el socket adecuado para el paciente se realizaron varias pruebas de concepto con diferentes materiales para asegurar que el socket se ajustara de la mejor manera, ya que el muñón de Gala es pequeño y redondo.

Pruebas de concepto para socket

- Prueba de concepto I: Consiste en socket en forma semiesférica en 3D.

Se utilizó la técnica de impresión dental, ya que es una de las herramientas más útiles que existen para poder trabajar sobre réplicas exactas. Según los consejos de *Dentaltix*⁷ para el manejo correcto de sus materiales, se utiliza la siguiente metodología:

1. Se deben tomar las medidas adecuadas para hacer una correcta mezcla, 1 cucharada medidora de alginato por 1 línea de agua (Ver Fotografía 2).



Fotografía 2. Alginato, cuchara medidora, vial de agua, taza para alginato y espátula para alginato.
Tomada el 29 de Septiembre de 2017.

2. Como se observa en la Fotografía 3, primero se añade el alginato en la taza y, a continuación, el agua. Se debe remover la mezcla, aplastando la masa contra las paredes de manera que no quede ningún grumo o burbuja de aire.

⁷ Dentaltix, es el principal Depósito Dental online, se tomó de referencia para ejemplificar la metodología utilizada por los dentistas. Consultado 25 Septiembre 2017, de: <https://www.dentaltix.com/blog/consejos-y-materiales-impresiones-dentales-tu-clinica-odontologia>



*Fotografía 3. Mezcla de Alginato y agua.
Tomada el 29 de Septiembre de 2017.*

3. El molde de impresión debe ser elegida según la medida del paciente. La mezcla obtenida de alginato y agua será vertida en el molde de impresión.
4. Se debe esperar a que la mezcla fragüe, por lo que se debe tener en cuenta la temperatura del agua (con agua fría tarda más en fraguar la mezcla). Hoy en día, muchos alginatos cambian de color cuando fraguan, lo que se conoce como alginatos cromáticos y hacen mucho más fácil su manejo.
5. Como se observa en la Fotografía 4, se coloca el molde en el cuerpo del paciente donde se desea tomar la muestra.



*Fotografía 4. Toma de impresión sobre el paciente.
Tomada el 29 de Septiembre de 2017.*

6. Una vez fraguado el alginato, se debe retirar el molde con cuidado y asegurarse que esté totalmente seco, es mejor no apresurarse, si sigue en estado líquido se derramarán los restos.
7. Se debe desinfectar la impresión y proceder al vaciado.

Posteriormente, se debe realizar el vaciado de la impresión, para ello se debe realizar lo siguiente:

8. Se añade en primer lugar el agua y luego el yeso en forma de polvo hasta conseguir una consistencia cremosa, si no se usan proporciones exactas se

puede producir una rotura por fragilidad pese a tener una apariencia similar a la mezcla correcta (Ver Fotografía 5).



Fotografía 5. Taza para yeso, espátula para yeso y 1 kg de yeso.
Tomada el 29 de Septiembre de 2017.

9. La impresión se debe limpiar con agua corriente y debe ser secada con aire a presión
10. Se añade la escayola a la impresión sobre el vibrador, evitando siempre, la aparición de poros. Una vez llena la impresión, se aconseja llenarla un poco más para poder retirarla bien (Ver Fotografía 6).



Fotografía 6. Impresión final en yeso.
Tomada el 2 de Octubre de 2017.

De acuerdo al muñón impreso, como se observa en la Fotografía 7, se modeló una interfaz preliminar entre el muñón y el socket, en goma Etilvinilacetato (EVA) moldeable.



Fotografía 7. Interfaz de socket.
Tomada el 20 de Noviembre de 2017.

A partir de dicho socket de forma semiesférica, se realizó (la prueba de concepto I) de socket con un modelo en impresión 3D de PLA (Ver Apéndice A, página 54).



Fotografía 8. Prototipo I de socket.
Tomada el 8 de Marzo de 2018.

Para realizar las pruebas era necesario configurar un acoplamiento que generara mayor estabilidad, debido a que el muñón es muy corto, el socket no permanece adherido al muñón por sí mismo. Por lo tanto, como se observa en la Fotografía 9, se le unió con una parte rígida hecha en trovicel, para tener completo la prueba de concepto y el acoplamiento mecánico.



Fotografía 9. Mecanismo de sujeción I.
Tomada el 16 de Marzo de 2018.

Ventajas	Desventajas
Toma una gran área de sujeción.	Muy rígido. Incómodo.

De esta manera se generó la prueba de concepto II de socket con un modelo en impresión 3D de PLA, con el acoplamiento mecánico en la parte lateral y el adaptador para el tubo protésico (Ver Apéndice A, página 55).



Fotografía 10. Prototipo II de socket.
Tomada el 26 de Marzo de 2018.

Ventajas	Desventajas
Toma una gran área de sujeción.	Poca estabilidad

Conclusiones: El diseño del socket se adapta bien al cuerpo del paciente, sin embargo, la posición del acoplamiento mecánico no es funcional ya que la estabilidad del tubo al estar en movimiento no es buena. Por lo tanto, para la prueba de concepto elegida, se modificará la posición ya sea con un tubo protésico o con una quilla protésica.

5.1.2. Definición de caña protésica

La función principal de la caña es generar soporte y estabilidad, también es la unión del socket con el acoplamiento mecánico.

Pruebas de concepto para caña protésica

- Prueba de concepto A: Como se observa en la Fotografía 11, consiste en un tubo de polipropileno unido a una rueda mediante un tornillo con tuerca.



Fotografía 11. Prototipo A1 de tubo protésico.
Tomada el 22 de marzo de 2018.

Al realizar la prueba notamos que, al estar el tubo totalmente recto, la estabilidad no era buena, ya que su posición estaba en un costado y al estar en movimiento, se perdía el control de la rueda y tendía a separar el socket del cuerpo de Gala. Por ello decidimos hacer otra prueba, creando un ángulo de curvatura en el tubo que nos permitiera abarcar una mayor área y así generar una mayor estabilidad (Ver Fotografía 12).



Fotografía 12. Prototipo A2 de tubo protésico.
Tomada el 22 de marzo de 2018.

Ventajas	Desventajas
Mayor movilidad en superficies irregulares	En superficies lisas no mantenía la estabilidad

Sin embargo, la rueda seguía presentando problemas en la estabilidad del socket. Por ello decidimos hacer otra prueba con 2 ruedas, alineadas sobre el mismo, como se observa en la Fotografía 13.



Fotografía 13. Prototipo A3 de tubo protésico.
Tomada el 22 de marzo de 2018.

A pesar de que las ruedas no eran iguales, sí se lograba mayor estabilidad con 2 ruedas, pero no la requerida para que el socket dejara de zafarse del muñón. Así que, como se observa en la Fotografía 14, decidimos hacer un último arreglo con 2 ruedas ensambladas en el mismo punto.



Fotografía 14. Prototipo A4 de tubo protésico.
Tomada el 22 de marzo de 2018.

Ventajas	Desventajas
Mayor estabilidad en el reposo.	Interfería con el movimiento de su miembro posterior no amputado.

Conclusiones: La mejor estabilidad se genera con el arreglo de las 2 ruedas sobre el mismo eje. Sin embargo, es necesario un mecanismo que genere mayor soporte como el arnés. Así mismo, ya que definimos la forma que podría tener el socket, para el prototipo funcional se debe realizar una impresión en 3D que reemplace a los dispositivos empleados hasta el momento en una sola pieza.

- Prueba de concepto B: Consiste en un arreglo en forma de T invertida con 2 ruedas. Se realizo mediante piezas de tubería hidráulica.

Para este proceso, utilizamos una conexión en forma de T que tuvimos que desbastar en el torno para poder eliminar la reducción central y que así nos permitiera ensamblar el tubo que soportaría las ruedas (Ver Fotografía 15).





Fotografía 15. Prototipo B1 de tubo protésico.
Tomada el 6 de Abril de 2018.

Ventajas	Desventajas
Aportaba un mayor grado de movilidad.	Interfería con el movimiento de su miembro posterior no amputado. Considerablemente pesado.

Conclusiones: Las ruedas resultan muy pesadas para el arreglo y al tener el tubo en el lateral del cuerpo se genera un giro en el socket que desequilibra a Gala al estar en movimiento. Para el modelo funcional, se propone cambiar la posición del tubo al centro del socket para tener una mejor estabilidad.

- Prueba de concepto C: Como se observa en la Fotografía 16, consiste en un tubo de policloruro de vinilo (PVC) de 1" con una goma de muleta.



Fotografía 16. Prototipo C1 de tubo protésico.
Tomada el 21 de abril del 2018.

La prueba anterior se realizó con el prototipo I de socket el soporte era bueno sin embargo se tenía que probar con un socket más largo para tener mayor estabilidad en movimiento. Para el nuevo socket, se debía cambiar el diámetro del tubo a $\frac{3}{4}$ " para que se ajustara con la entrada de la goma de muleta y ya que se contaba con uno de tubería hidráulica de esa medida, se utilizó para la siguiente prueba (Ver Fotografía 17).



Fotografía 17. Prototipo C2 de tubo protésico.
Tomada el 28 de Abril del 2018.

Ventajas	Desventajas
Mejor estabilidad en reposo Mayor área de sujeción	Provocaba lentitud al caminar. Se tropezaba con mayor frecuencia

Conclusiones: La estabilidad es mejor en esa posición a pesar de que la distancia con su otro miembro es pequeña, esto genera una mayor estabilidad y elimina los giros del socket, también se disminuyó el peso. Sin embargo, al estar en movimiento el tubo no responde adecuadamente a los movimientos ya que es un material rígido. Necesitaríamos cambiar la forma por un material flexible, que amortigüe al caminar.

- Prueba de concepto D: Consiste en una adaptación de una quilla completa en fibra de carbono, en forma de "J".

Para realizar el molde utilizamos fibra de carbono, éste material es muy común en las prótesis deportivas, sin embargo, su costo es muy elevado por lo que se recomienda utilizar una capa intermedia de fibra de vidrio.

Como se observa en la Fotografía 18, el primer paso es construir un molde para luego preparar la tela o la placa de fibra de vidrio y, finalmente, aplicar el endurecedor, en este caso utilizamos trovicel y resina de poliéster.





Fotografía 18. Prototipo D1 de caña protésica.
Tomada el 30 de Abril del 2018.

Una vez obtenida la pieza de fibra de vidrio, recubrimos con 2 capas por lado de fibra de carbono, de igual manera utilizamos resina para endurecer (Ver fotografía 19).





Fotografía 19. Prototipo D1 de caña protésica.
Tomada el 6 de Mayo del 2018.

Ventajas	Desventajas
Mejor estabilidad en reposo Mayor área de sujeción Estable al caminar Flexibilidad Ligera	Costo

Conclusiones: La estabilidad es buena y debido a que el material es flexible, este sistema proporciona un mejor soporte y amortiguamiento al caminar, por lo tanto esta será la prueba de concepto elegida. Adicionalmente, es conveniente destacar que la fibra de carbono es un material muy resistente mecánicamente, duradero, ligero y flexible.

5.1.3. Definición de arnés

Correa resistente que se ajusta al cuerpo de una persona y que soporta el peso de la prótesis.

Considerando que el arnés provee mayor soporte, estabilidad y un refuerzo en la seguridad, además de la versatilidad que puede presentar ya sea en color y material.

Se ha optado por utilizar esta herramienta, experimentando con diversos prototipos. Los primeros dos prototipos fueron probados en un can diferente de dimensiones similares.

Pruebas de concepto para arnés

- Prueba de concepto I: Como se observa en la Fotografía 20, consiste en correas ajustables cosidas a la tela.



Fotografía 20. Prototipo I de arnés.
Tomada el 25 de Febrero de 2018.

Ventajas	Desventajas
Mejor área de sujeción Más cómodo Colocación rápida	Se puede zafar fácilmente

- Prueba de concepto II: Como se observa en la Fotografía 21, consiste en una pieza de tela a modo de calzón ajustable mediante botones.



Fotografía 21. Prototipo II de arnés.
Tomada el 25 de Febrero de 2018.

Ventajas	Desventajas
Mayor área de sujeción	Más complicado para ponérselo al can

Los arneses posteriores fueron probados sobre el can paciente, como se muestra en las fotografías:

- Prueba de concepto III: Consiste en una parte rígida superior que se une al torso de Gala mediante correas ajustables.

Para ello, como se muestra en la Fotografía 22, se marcó la silueta en trovicel y se cortó con la caladora, con la ayuda de la pistola de calor se fue moldeando hasta obtener la forma deseada.



Fotografía 22. Prototipo III de arnés rígido.
Tomada el 1 de Marzo de 2018.

Ventajas	Desventajas
Facilidad para ponérselo al can	Demasiado rígido Incómodo Problemas en la sujeción

- Pruebas de concepto IV: Como se observa en la Fotografía 23, consiste en una parte rígida inferior que se une al torso de Gala mediante correas ajustables.

En esta ocasión utilizamos goma de Etilvinilacetato (EVA) para la capa superior, las restantes con polipropileno. Comenzamos haciendo unos moldes de las 3 capas que íbamos a utilizar para crear el arnés, en papel periódico. Posteriormente, las marcamos en los otros materiales, cortamos y pegamos con Resistol 5000. Dejamos secar para finalmente, hacer las perforaciones de las correas y coser.



Fotografía 23. Prototipo IV de arnés rígido.
Tomada el 1 de Marzo de 2018.

Ventajas	Desventajas
Facilidad para ponérselo al can	Rígido Incómodo Pesado

- Prueba de concepto V: Como se muestra en la Fotografía 24, consiste en una parte textil superior que se une al torso de Gala mediante correas ajustables, el cual también cuenta con una tela con velcro para ajustarse a su miembro no amputado.



Fotografía 24. Prototipo V de arnés textil.
Tomada el 15 de Marzo de 2018.

Ventajas	Desventajas
Mayor área de sujeción Cómodo	Se puede zafar fácilmente

Conclusiones: En la prueba de concepto I el diseño es cómodo y se adapta bien al cuerpo del paciente al estar en movimiento, sin embargo, se necesita mejorar la sujeción con correas ajustables o cintas con velcro, además de crear algún mecanismo que conecte con el pecho del can, para evitar que cambie de posición.

El modelo de la prueba de concepto II se adaptó bien en nuestro can de prueba, sin embargo, al extrapolarlo a nuestro paciente, los resultados no fueron satisfactorios ya que el muñón es muy corto, por lo que se tiene que ajustar muy bien al cuerpo del paciente y al socket para tener estabilidad al estar en movimiento.

A partir de las pruebas de concepto III y IV podemos concluir que los arneses rígidos no son funcionales, ya que no se adaptan al cuerpo del paciente y eso genera inestabilidad. Por lo tanto, el arnés debe de realizarse con materiales textiles que aporten flexibilidad.

Al realizar la prueba de concepto V, notamos que el tener mayor área de sujeción resulta mejor para la estabilidad del socket, sin embargo, el arnés no permanece en su lugar, se necesitan correas ajustables a lo largo del torso, para evitar que se deslice cuando el can está caminando.

El resultado de las pruebas de concepto indica:

1. El arnés debe de estar en contacto directo con el cuerpo del paciente.
2. Se necesita una pieza que se ajuste al tamaño del muñón.
3. Debe de abarcar todo el torso e interconectar los 2 miembros posteriores.

Por lo tanto, el diseño final deberá de cubrir esos 3 puntos, para ello, se trabajará con la prueba de concepto I, ya que es la que tiene mejores atributos de diseño. Esta prueba es textil, por lo que se adapta al cuerpo del paciente y no existe ningún problema para que ambos entren en contacto.

Para cumplir el segundo punto, se mejorará el diseño mediante cintas con velcro que permitan ajustar el arnés al socket del muñón.

Finalmente, para cumplir el último requisito, adicionalmente al arnés posterior se implementará una pechera que abarque la parte superior del can, de esta manera ambos dispositivos abarcarán todo el torso.

Capítulo 6. Justificación de la prueba de concepto

Al terminar las pruebas de concepto implementadas se concluyó lo siguiente:

En cuanto a la prueba de concepto del socket se cumplió con las expectativas, por lo cual seguirá presente en el modelo funcional.

Respecto a las pruebas de conceptos de la caña protésica, se observó que los casos A, B y C no ayudaban a la paciente, pues debido a que son más pesados no podía desplazarlo con facilidad, empeorando entonces su movimiento. Por lo cual se trabaja con el caso D, que ayuda de mejor manera a la movilidad del paciente.

Se verificó que el mejor arnés fue el generado en la prueba de concepto I con el arnés textil, en vista de que el arnés II resultó complicado de colocar, el arnés III tenía la parte superior rígida que lastimaba a Gala al momento de sentarse, similar al arnés IV al tener la parte inferior rígida, se lastimaba el torso al momento de sentarse, finalmente, el arnés VI no era tan fácil de colocar y no brindaba la sujeción esperada.

Seguido de esto, se realizarán los cálculos necesarios para las elecciones de los materiales de manufactura para la prueba de concepto elegida.

6.1. Cálculos.

Para la carga que debe soportar la prótesis se realizó el cálculo de la descomposición ya que la distribución de la carga se relaciona teóricamente, como se muestra en la Figura 21, el 60% del peso corporal del animal cuadrúpedo corresponde a la parte anterior del animal (debido al peso de la cabeza), y el 40% a la posterior.⁸

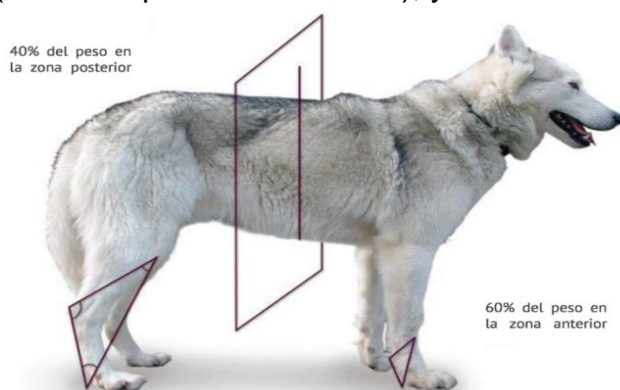


Figura 21. Fuerzas que ejerce un animal.

Fuente: <http://www.traumatologiveterinaria.com/articulaciones/docs/biomecanica.pdf>

⁸ Rodríguez-Rico, R. Biomecánica, traumatología y ortopedia. Universidad Mayor de San Simón, Bolivia. Consultado 29 Marzo 2018, de: <http://www.traumatologiveterinaria.com/articulaciones/docs/biomecanica.pdf>

Debido a que Gala presenta una masa de 18 kilogramos y la gravedad en la Ciudad de México es de $9.78 \frac{m}{s^2}$.

Su peso en Newtons es de $W = (18 \text{ kg}) \left(9.78 \frac{m}{s^2} \right) = 176.04 \text{ N}$

Por lo tanto, para la descomposición de fuerzas será:

- Para los miembros anteriores $(0.6)(176.04 \text{ N}) = 105.624 \text{ N}$, entonces, cada extremidad anterior soportaría 52.812 N .
- Para los miembros posteriores $(0.4)(176.04 \text{ N}) = 70.416 \text{ N}$, entonces, cada extremidad posterior soportaría 35.208 N .

6.2. Selección de materiales

6.2.1. Para socket y acoplamiento: Impresión 3D

Justificación de impresión en 3D

La impresión 3D es también conocida como manufactura por adición y las ventajas que tiene son las siguientes:

1. Permite realizar prototipos de productos con facilidad.
2. La producción puede realizarse desde casa y eso disminuye su costo.
3. Se puede personalizar.
4. La impresión se puede realizar en diferentes materiales.

Material seleccionado

Para el diseño se considerarán dos principales materiales: PLA y ABS.

	TEMP IMPRESIÓN (°C)	TEMP CAMA (°C)	DENSIDAD (g/cm3)	TEMP DISTORSIÓN	ÍNDICE DE FLUIDEZ	TENSIÓN DE ROTURA (MPa)	ELONGACIÓN EN ROTURA (%)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (MPa)	RESISTENCIA AL IMPACTO (KJ/m2)
PLA	190-210	N/A(60-80)	1.24	56	5(190°C/2.16kg)	65	8	97	4
PLA+	205-225	N/A(60-80)	1.24	52	2(190°C/2.16kg)	60	29	87	7
ABS	220-260	110	1.04	78	12(220°C/10kg)	43	43	66	19

Tabla 2. Tabla comparativa de materiales para impresión 3D.

Fuente:

http://www.seizo.co/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=96&virtuemart_category_id=16

Además, se propusieron fibra de carbono y fibra de vidrio, en caso de realizar una carcasa para el socket y el acoplamiento.

Matriz de decisión para el material del socket:

Material	Disponibilidad	Resistencia a la carga	Resistencia al impacto	Peso	Viabilidad	Total
PLA	3	3	3	2	3	14
ABS	2	2	2	3	2	11
Fibra de carbono	3	3	3	2	1	12
Fibra de vidrio	2	2	2	2	3	11

Tabla 3. Matriz de decisión para el material del socket

Donde:

1 = Malo

2 = Intermedio

3 = Bueno

Mediante la matriz propuesta se pudo observar que el material de PLA tiene una mayor puntuación por lo que fue el material elegido, dado que reduce la deformación por contracción y eso aumenta la precisión. Un punto importante adicional, es el hecho de que se cuenta con el material disponible para los ensayos de las pruebas de concepto propuestas.

6.2.2. Para la caña protésica.

Matriz de decisión para el material de la caña protésica:

Material	Disponibilidad	Resistencia a la carga	Resistencia al impacto	Peso	Viabilidad	Total
Aleación de Aluminio	3	3	2	2	2	12
Acero inoxidable	3	3	3	1	1	11
Aleación de Titanio	1	3	3	1	1	9
Polipropileno	2	2	2	3	2	11
Fibra de carbono	3	3	3	3	3	15

Tabla 4. Matriz de decisión para el material de la caña protésica.

Donde:

1 = Malo

2 = Intermedio

3 = Bueno

Mediante la matriz propuesta se pudo observar que la fibra de carbono tiene una mayor puntuación por lo que fue el material elegido, principalmente, por su alta resistencia al impacto y a la carga, por ser un material flexible.

6.2.3. Para arnés.

Matriz de decisión para el material del arnés:

Material	Elasticidad	Durabilidad	Peso	Comodidad	Total
Neopreno	3	3	3	3	12
Algodón	1	1	3	2	7
Poliéster	1	2	3	2	8
Elastano	3	1	3	3	10

Tabla 5. Matriz de decisión para el material del arnés.

Donde:

1 = Malo

2 = Intermedio

3 = Bueno

Mediante la matriz propuesta se pudo observar que el neopreno es el material que tiene mayor puntuación, además de su alta resistencia a la degradación a causa del sol, el ozono, el clima y al envejecimiento, por lo cual será utilizado para la prueba de concepto I, en vista de su facilidad de colocación y comodidad que otorga ese diseño.

Gracias a este análisis, podemos concluir que el material adecuado para realizar la prueba de concepto elegida debe de ser PLA en impresión 3D para el socket, en cuanto a la caña protésica el material elegido será fibra de carbono y el material final que llevará el arnés será neopreno debido a su flexibilidad y alta durabilidad.

Capítulo 7. Manufactura de la prueba de concepto elegida

Construcción de la prueba de concepto elegida para verificar el diseño y el comportamiento del paciente con el mismo.

Siguiendo entonces el desarrollo del capítulo anterior, se llevó a cabo la construcción de cada uno de las partes:

Socket: De acuerdo a la prueba de concepto II del socket, en impresión 3D se realizó dicha parte que consta de un hueco donde el muñón es colocado, un acoplamiento para la caña protésica y una extensión que servirá para anexas al arnés (Ver Apéndice A, página 56).



*Fotografía 25. Socket en impresión 3D.
Tomada el 28 de abril del 2018.*

Prototipo de caña protésica: Como se muestra en la Fotografía 26, la prueba de concepto D funciona mejor al adaptarlo al usuario, debido a que aporta mejor

estabilidad y movilidad. Por lo cual, se utiliza el mismo material mencionado en el capítulo anterior.



*Fotografía 26. Tubo protésico funcional.
Tomada el 8 de Mayo del 2018.*

Arnés: De acuerdo con la prueba de concepto I del arnés, se determinó utilizar una pechera para la parte frontal y para el resto del cuerpo se manufacturó un arnés con textil muy parecido al neopreno, algunas partes conllevan velcro cosido, el cual nos permite tener buena sujeción y facilidad para poner/retirar (Ver Fotografía 27).





*Fotografía 27. Prototipo I de arnés funcional.
Tomada el 29 de abril del 2018.*

Capítulo 8. Resultados y Conclusiones

Una vez realizadas todas las pruebas de las propuestas del socket se pudo observar que el diseño de socket final resultó adecuado ya que se ajustaba al muñón de la paciente, el cual era muy pequeño y ese fue el principal reto de este proyecto.

Al ser de dichas dimensiones y, evidentemente, estar recubierto por pelaje, no fue fácil diseñar algo que se ajustara bien, pues en esa parte del cuerpo no tenía mucho apoyo ni estabilidad. Pensando en que le aportará mayor comodidad y evitar que le lastimará, se le recubrió con un acabado interior de goma Etilvinilacetato (EVA).

Después del diseño del socket se procedió a realizar las pruebas del arnés, donde se pudo observar que el modelo final fue ergonómico y muy fácil de colocar, ya que las propuestas rígidas no aportaban comodidad para el paciente, ni tenían tanta facilidad para poner/quitar y sus cuidados eran más complicados.

En el caso del tubo protésico con la rueda se observó que no era estable y no le aportaría la estabilidad necesaria, por lo que le iba a causar muchas lesiones en la pata de apoyo. Mientras que, para el tubo protésico con la goma, se observó que al caminar le estorbaba al ser un mecanismo rígido y por lo tanto le iba a causar muchos tropiezos.

Es por ello que se optó por una quilla protésica con un recubrimiento antiderrapante para así aportar mayor soporte, flexibilidad y facilidad al caminar.



*Fotografía 28. Propuesta de caña protésica.
Tomada el 6 de mayo del 2018.*

Se puede concluir que en el presente trabajo se valida el cumplimiento del objetivo principal, al haber realizado un modelo funcional a partir de las pruebas de concepto. Es decir, como este proyecto es a nivel conceptual, se trata de generar una primera solución para resolver este problema; en trabajos posteriores se podrían realizar mejoras ya que este proyecto llevado a la práctica seguramente tendrá algunas deficiencias que deben ser corregidas a efecto de llevar la prótesis totalmente a un producto comercial.

Este proyecto fue muy benéfico para nuestro aprendizaje ya que aprendimos sobre los dispositivos ortopédicos, su importancia en la vida de los pacientes con amputaciones. En especial, sobre las prótesis y los principales fabricantes, tanto en México como en el mundo, los diferentes modelos que ofrecen los fabricantes de arneses, al igual que los diseños y soluciones para las cañas protésicas. La recopilación de esta información fue la que nos hizo posible encontrar una solución funcional a un muñón pequeño.

Además, gracias a los conocimientos de las materias impartidas en la Facultad de Ingeniería como Dibujo Mecánico e Industrial, Tecnología de Materiales, Diseño del Producto y Procesos de Manufactura, fue posible realizar las pruebas de concepto, para finalmente manufacturar el prototipo funcional.

El proceso de elaboración de una prótesis para un paciente como Gala es muy complejo, debido a que su muñón es muy corto, por ello es muy complicado encontrar una prótesis que se adapte a sus necesidades en el mercado. Sin embargo, este diseño conceptual sirve como antecedente para continuar trabajando a futuro en las oportunidades de mejora y eventualmente obtener un producto final que nos permita su comercialización.

Por otra parte, fue muy gratificante realizar este trabajo, a través del cual descubrimos el grado de inventiva que podemos llegar a tener. El ver cómo las ideas de uno se pueden materializar y convertir en algo que puede ayudar a los animales y así mejorar la calidad de vida de seres tan nobles como los caninos, quienes, a pesar de haber pasado por un trauma, como la amputación, pueden utilizar una prótesis, que sea benéfica para su salud y que les permitan tener una vida mejor.

Capítulo 9. Trabajo a futuro

Recordando que se llegó a una prueba de concepto que satisface las especificaciones y las necesidades detectadas, es importante destacar que se puede trabajar en el mismo para mejorarlo, además de trabajar en piezas reemplazables que permitan un fácil mantenimiento a la prótesis.

Algunos puntos donde puede comenzar a mejorar el prototipo funcional son:

- Mejorar la sujeción: Se propone realizar un socket ajustable.
- Mejorar la calidad de los materiales del arnés por un modelo realizado de neopreno.
- Hacer un análisis de esfuerzos y deformaciones para poder definir el peso, el tamaño y espesor adecuado de la prótesis.
- Realizar un análisis de biocompatibilidad de materiales y determinar el método de manufactura más adecuado dependiendo del material.
- Después de realizar el diseño mecánico final se puede ajustar y diseñar una carcasa exterior personalizada.
- Realizar un estudio de mercado y de factibilidad económica para ver si es un proyecto rentable y de esta manera, desarrollar el producto final y buscar una comercialización adecuada.

Además de esto, se pensará en algún diseño adaptable a diversas para los pacientes que presenten este problema de muñón posterior pequeño, pues no existen muchas prótesis de este tipo en el mercado.

En el caso de Gala debido a las enfermedades que se pueden presentar en su edad adulta, como la displasia en la cadera, podría cambiarse la prótesis por otro dispositivo ortopédico como la silla de ruedas.



Figura 22. Silla de ruedas elaborada por la empresa mexicana Car-can.
Fuente: <http://www.car-can.com.mx/car/index.php/galeria>

Bibliografía

Linda J. Vorvick, MD, Medical Director and Director of Didactic Curriculum, MEDEX Northwest Division of Physician Assistant Studies, Department of Family Medicine, UW Medicine, School of Medicine, University of Washington. Also reviewed by A.D.A.M. Health Solutions, Ebix, Inc., Editorial Team: David Zieve, MD, MHA, David R. Eltz, Stephanie Slon, and Nissi Wang. Consultado el 30 de Enero de 2018.

Miller-Keane Encyclopedia and Dictionary of Medicine, Nursing, and Allied Health, Seventh Edition. (2003). Consultado el 15 de Febrero de 2018.

Morales López, José Luis. Anatomía aplicada de los pequeños animales. (2003/2004). Recuperado de: http://www.uco.es/organiza/departamentos/anatomia-y-anatopatologica/peques/curso01_05/amputacion.pdf. Consultado el 4 Septiembre 2018.

Quigley, M. (2018). *4: Prosthetic Management: Overview, Methods, and Materials | O&P Virtual Library. Oandplibrary.org*. Recuperado de: <http://www.oandplibrary.org/alp/chap04-01.asp> Consultado el 21 de Febrero de 2018.

Rodríguez-Rico, R. Biomecánica, traumatología y ortopedia. Universidad Mayor de San Simón, Bolivia. Recuperado de: <http://www.traumatologiaveterinaria.com/articulaciones/docs/biomecanica.pdf>. Consultado el 29 de Marzo de 2018.

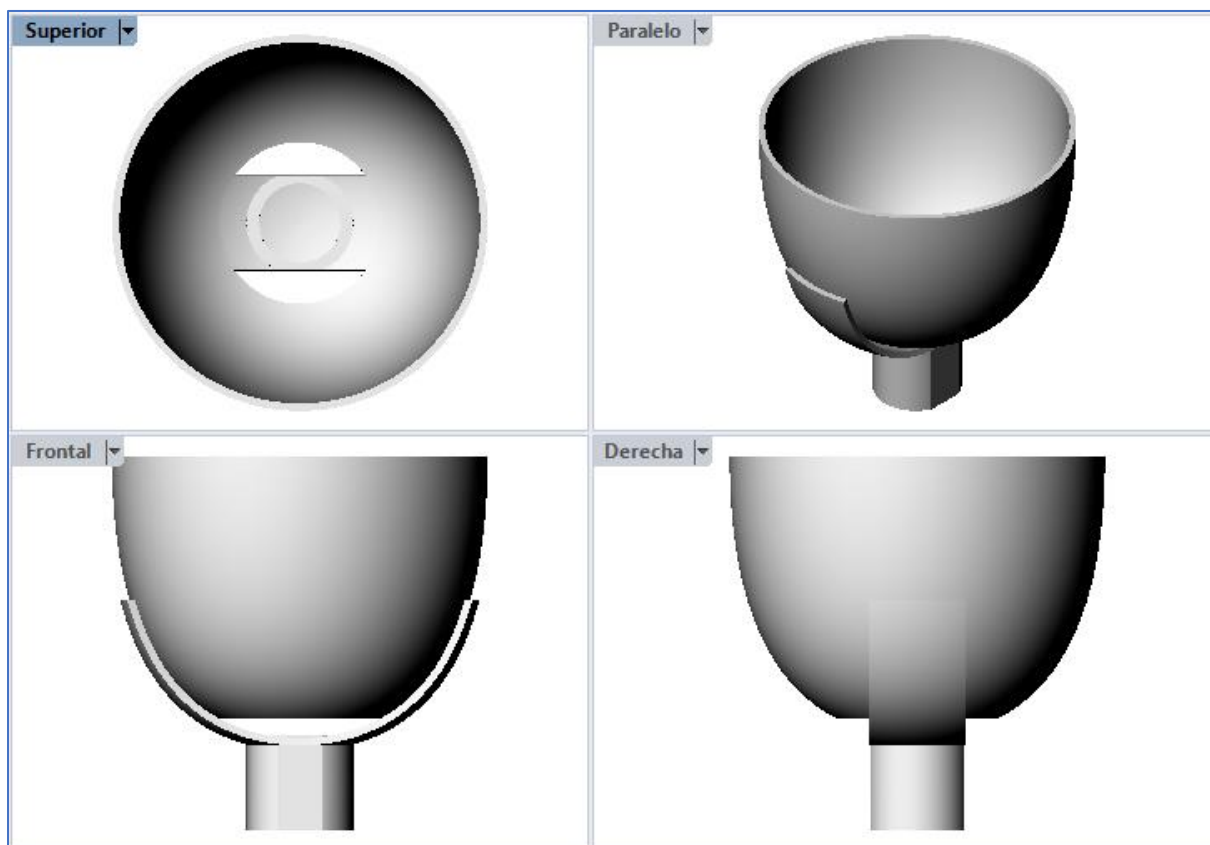
Ruiz. P. Miguel. Rehabilitación y fisioterapia canina, INTER.Médica. 1a. Ed. (2011). Consultado 20 de Marzo de 2018.

Técnica de impresión dental por *Dentaltix*. Recuperado de: <https://www.dentaltix.com/blog/consejos-y-materiales-impresiones-dentales-tu-clinica-odontologia>. Consultado 25 Septiembre 2017.

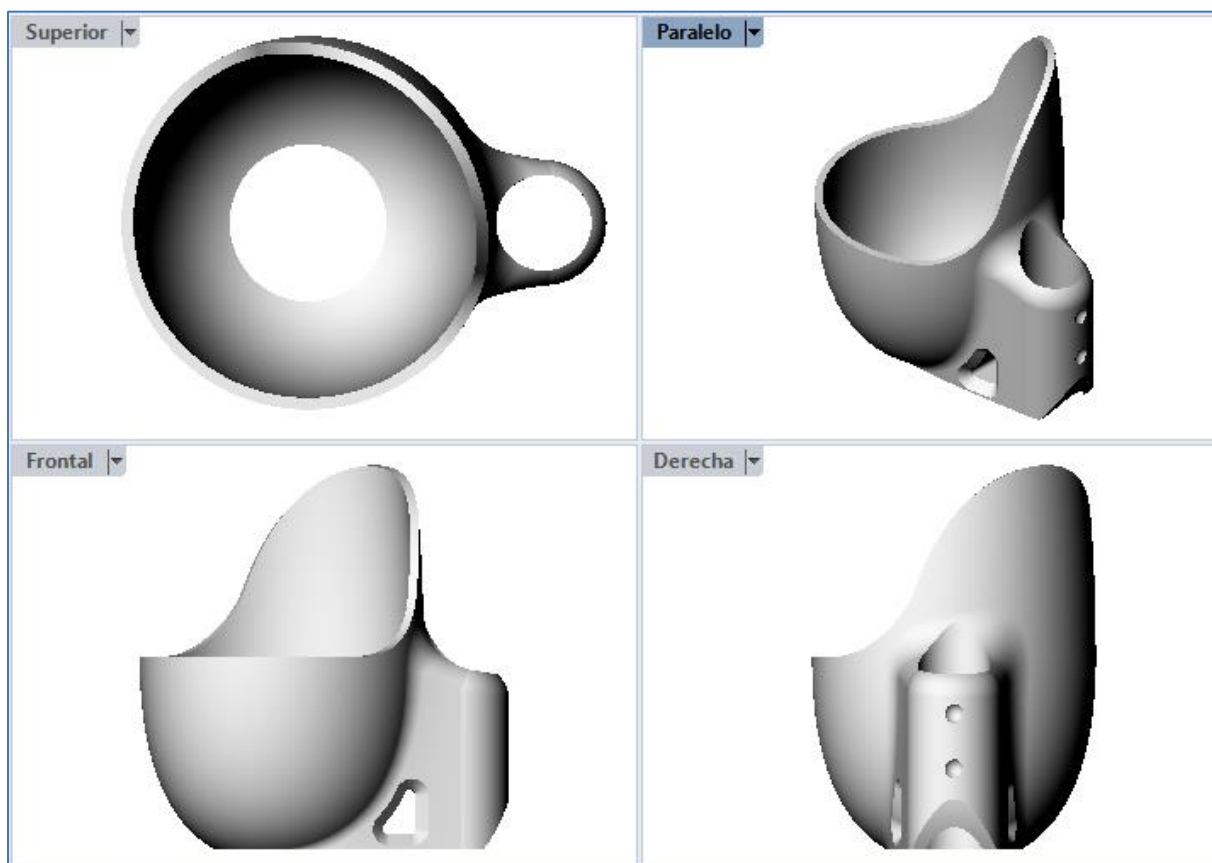
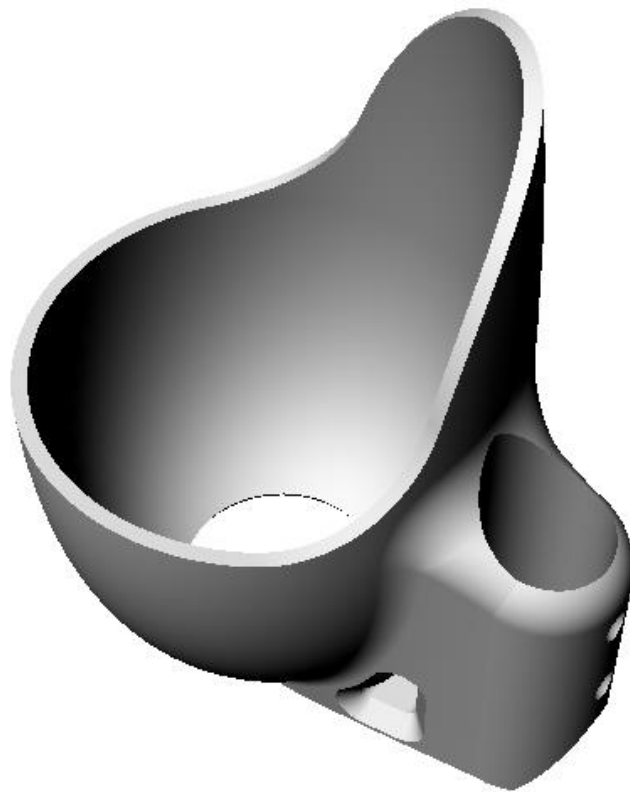
APÉNDICE

A

Renderizado: Socket Prototipo I



Renderizado: Socket Prototipo II



Renderizado: Socket Prototipo III

