



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Trabajo Final de Máster en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por  
Computador

---

**Diseño, análisis e  
implementación de una prótesis de  
extremidad delantera canina,  
mediante técnicas CAD/CAM/CAE,  
adaptable a cualquier animal a partir  
de geometría escaneada en 3D**

---

**Autor:** Juan Francisco Rodríguez Franco

**Tutor:** Gustavo Manuel Salvador Herranz

**Fecha:** Julio 2020



*En primer lugar, quiero agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado en este proyecto de alguna forma.*

*A mi tutor, Gustavo, por la ayuda y la confianza depositada en mí.*

*A Inma y Raúl por toda la ayuda dada tanto a nivel físico, como moral.*

*A mis primos, Antonio y Lorenzo, por soportar todas mis charlas sobre el proyecto, y por su opinión.*

*A todo aquel trabajador de la UPV que ha hecho posible la finalización de este proyecto a pesar de la situación que estamos atravesando.*

*En definitiva, gracias a todos.*

# Resumen

El objetivo principal del trabajo consiste en el desarrollo de un prototipo de prótesis para extremidad delantera canina, aplicando las técnicas propias de diseño, fabricación y análisis asistidos por ordenador, así como de prototipado rápido.

La metodología de trabajo seguida ha consistido en varias etapas. Inicialmente, se ha realizado una investigación del estado del arte en el desarrollo de prótesis caninas, campo que actualmente es bastante innovador. Paralelamente, se ha estudiado en profundidad el marco teórico protésico canino. A partir de esta información, en una segunda etapa, se han aplicado los conocimientos CAD/CAM/CAE adquiridos en la titulación, desarrollando inicialmente un modelo CAD y posteriormente su implementación en un prototipo físico.

Para conseguir una perfecta adaptación del muñón a la prótesis, se han aplicado técnicas de ingeniería inversa, que permite el diseño e implementación de una pieza intermedia. De este modo, se consigue un perfecto ajuste entre la extremidad y la prótesis, adaptada particularmente a cada animal, debiendo ser fabricada únicamente y de manera específica esta pieza.

Por otra parte, se ha realizado el análisis mediante cálculo por elementos finitos del modelo CAD, lo que ha permitido conocer el comportamiento del prototipo bajo ciertas condiciones.

Por último, se ha realizado una implementación física del prototipo mediante técnicas de impresión 3D.

## **Palabras clave:**

Prótesis caninas; Diseño asistido por ordenador; Fabricación asistida por ordenador; Ingeniería asistida por ordenador; Elementos finitos; Impresión 3D; Prototipado rápido; Ingeniería inversa; Escaneo 3D.

# Resum

L'objectiu principal del treball consisteix en el desenvolupament d'un prototip de pròtesi per a extremitat davantera canina, aplicant les tècniques pròpies de disseny, fabricació i anàlisi assistits per ordinador, així com de prototipado ràpid.

La metodologia de treball seguida ha consistit en diverses etapes. Inicialment, s'ha realitzat una investigació de l'estat de l'art en el desenvolupament de pròtesis canines, camp que actualment és prou innovador. Paral·lelament, s'ha estudiat en profunditat el marc teòric protètic caní. A partir d'esta informació, en una segona etapa, s'han aplicat els coneixements CAD/CAM/CAE adquirits en la titulació, desenvolupant inicialment un model CAD i posteriorment la seua implementació en un prototip físic.

Per a aconseguir una perfecta adaptació del monyó a la pròtesi, s'han aplicat tècniques d'enginyeria inversa, que permet el disseny i implementació d'una peça intermèdia. D'esta manera, s'aconsegueix un perfecte ajust entre l'extremitat i la pròtesi, adaptada particularment a cada animal, havent de ser fabricada únicament i de manera específica esta peça.

D'altra banda, s'ha realitzat l'anàlisi per mitjà de càlcul per elements finits del model CAD, la qual cosa ha permés conèixer el comportament del prototip davall certes condicions.

Finalment, s'ha realitzat una implementació física del prototip per mitjà de tècniques d'impressió 3D.

## **Paraules clau:**

Pròtesis canines; Disseny assistit per ordinador; Fabricació assistida per ordinador; Enginyeria assistida per ordinador; Elements finits; Impressió 3D; Prototipado ràpid; Enginyeria inversa; Escanejat 3D.

# Abstract

The main objective of the work is to develop a prototype of a canine forelimb prosthesis, applying the CAD/CAM/CIM techniques, as well as rapid prototyping.

The methodology has consisted of several stages. Initially, a state-of-the-art research in the field of development of dog prostheses, was carried out, a field that is currently quite innovative. In parallel, the theoretical framework related to the development of canine limb prostheses was studied. From this information, in a second stage, the CAD / CAM / CAE knowledge acquired in the degree has been applied, initially developing a CAD model and later its implementation in a physical prototype.

To achieve a perfect adaptation of the stump to the prosthesis, reverse engineering techniques have been applied, which has led to the design and implementation of an intermediate piece. In this way, a perfect fit is achieved between the limb and the prosthesis, particularly adapted to each animal. This intermediate piece is the only one that must be manufactured in a personalized way for each animal, from 3D scanned geometry of the limb.

On the other hand, simulation and analysis of the CAD model of the prosthesis has been carried out, using the finite element method, which has allowed predicting the behavior of the prototype under certain conditions.

Finally, a physical implementation of the prototype has been carried out using 3D printing techniques.

## **Keywords:**

Canine Prosthetics; Computer Aided Design; Computer Aided Manufacturing; Computer Aided Engineering; Finite Element; 3D Printing, Rapid Prototyping; Reverse Engineering; 3D Scan

## Índice general

MEMORIA .....	11
1. Introducción .....	12
1.1. Objetivos .....	13
1.2. Justificación.....	13
1.3. Estructura de trabajo.....	14
2. Marco teórico .....	15
2.1. Historia de prótesis.....	15
2.3. Prótesis animales .....	22
2.4. Zoometría canina .....	26
3. Estudio de alternativas.....	27
3.1. Tipo prótesis.....	27
3.2. Material .....	30
4. Descripción solución adoptada .....	31
4.1. Estructura prótesis .....	36
4.2. Materiales .....	40
5. Cálculo mediante Elementos Finitos .....	41
6. Fabricación y montaje.....	51
7. Conclusiones .....	54
7.1. Conclusiones.....	54
7.2. Trabajos futuros .....	54
BIBLIOGRAFÍA .....	55
PRESUPUESTO .....	57
8. Presupuesto .....	58
8.1. Introducción .....	58
8.2. Cálculo de costes.....	58
8.3. Resumen presupuesto.....	61
PLANOS.....	63

## Índice de figuras

Figura 1. Porcentaje de hogares con al menos un perro en la UE en 2018.[1]	12
Figura 2. Ilustración evolución protésica. ....	15
Figura 3. Garfio [3] .....	16
Figura 4. Detalles técnicos construcción de la mano.[4] .....	16
Figura 5. Mano mecánica por Ambroise Paré. ....	17
Figura 7. Prótesis inteligentes de Hugh Herr.....	19
Figura 8. Endoprótesis arterial. ....	20
Figura 9. Prótesis sensorial. ....	20
Figura 10. Ejemplos órtesis. ....	21
Figura 11. Prótesis aleta caudal delfín.[5] .....	23
Figura 12. Prótesis pico para aves. ....	24
Figura 13. Prótesis en caballo. ....	25
Figura 14. Esquema variables zoométricas canina. ....	26
Figura 15. Carro sustitución patas delanteras. ....	27
Figura 16. Ejemplo prótesis individualizada. ....	28
Figura 17. Partes de una prótesis. ....	28
Figura 18. Prótesis con articulación. ....	29
Figura 19. Animal escaneado+ plataforma. ....	31
Figura 20. Modelo escaneado. ....	32
Figura 21. Modelo pata delantera izquierda. ....	32
Figura 22. Perfil muñón (rojo). ....	33
Figura 23. Altura aproximada muñón-pata. ....	33
Figura 24. Diámetros aproximados (mayor y menor) .....	34
Figura 25. Modelo diseñado. ....	35
Figura 26. Vista explosionada partes prototipo .....	36
Figura 27. Planta Adaptador.....	37
Figura 28. Soporte superior.....	38
Figura 29. Sección intermedia protesis .....	39
Figura 30. Apoyo inferior (Reposo) .....	39
Figura 31. Modelo de análisis.....	41
Figura 32. Mallado modelo. ....	42
Figura 33. Restricción fija. ....	43
Figura 34. Fuerza de reacción.....	43

Figura 34. Desplazamiento Nodal .....	44
Figura 36. Esfuerzo Elemental. ....	45
Figura 37. Esfuerzo elemental Eje Superior. ....	45
Figura 38. Esfuerzo Elemental Unión Eje inferior-Apoyo.....	46
Figura 39. Esfuerzo Elemental tornillo idealizado.....	46
Figura 40. Esfuerzo elemento nodal.....	48
Figura 41. Esfuerzo elemento nodal Unión Eje inferior-Apoyo. ....	48
Figura 42. Esfuerzo nodal Eje Superior.....	49
Figura 43. Esfuerzo Nodal tornillo idealizado. ....	49
Figura 44. Fuerza de reacción.....	50
Figura 45. Fuerza de reacción Eje superior-Tornillo.....	50
Figura 46. Cama de impresión 1. ....	51
Figura 47. Cama de impresión 2. ....	52
Figura 48. Prototipo impreso. ....	53

## Índice de tablas

Tabla 1. Características ácido poliláctico (PLA). [7] .....	40
Tabla3. Parámetros impresión 3D.....	51
Tabla 4. Costes mano de obra. ....	58
Tabla 5. Costes materiales.....	59
Tabla 6. Costes elementos fungibles. ....	59
Tabla 7. Costes amortizaciones .....	60
Tabla 8. Coste herramientas informáticas.....	60
Tabla 9. Presupuesto total.....	61

# **MEMORIA**

## 1. Introducción

Son muchos los avances respecto al bienestar y el cuidado animal dentro de la sociedad, esto es debido a un fuerte crecimiento en animales domésticos.

Según un estudio realizado en 2020 por Statista Research Department, en España durante el año 2018 un 24% de españoles tenían un perro, lo que se traduce en 11.200.000 de perros domésticos. [1]

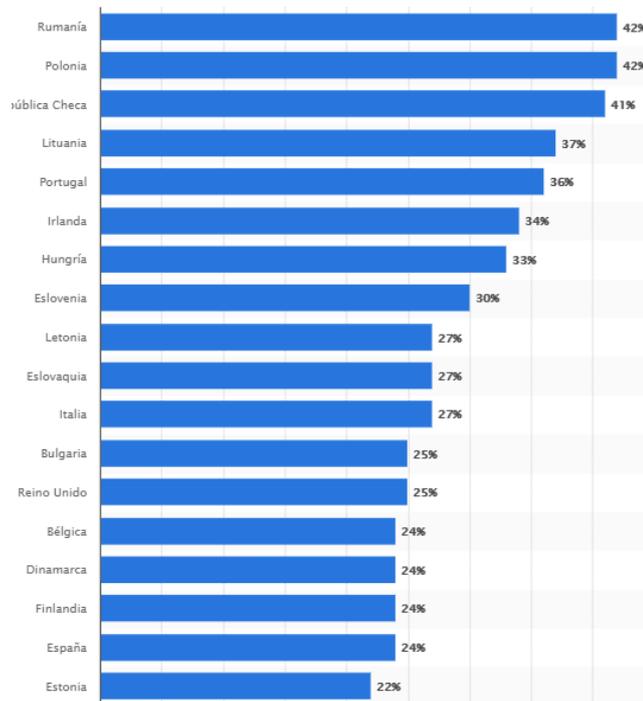


Figura 1. Porcentaje de hogares con al menos un perro en la UE en 2018. [1]

No obstante, a estas cifras hay que sumar todos aquellos perros que han sido sacrificados los cuales han sido abandonados por sus familias. Las causas principales de abandono son mal comportamiento, fin de temporada de caza y principalmente debido a lesiones y discapacidades, las cuales requieren un esfuerzo económico el cual muchas personas no se pueden permitir.

## 1.1. Objetivos

La finalidad de este trabajo es realizar una prótesis ortopédica de pata delantera para perro, de forma que el diseño de esta pueda ser imprimido mediante la técnica de fabricación de impresión 3D, por tanto, los objetivos del proyecto son:

- 1) Obtención de datos experimentales para desarrollo de prótesis, para esto se ha utilizado datos para un perro de un peso de 10 Kg y una altura de pata de 20 cm aproximadamente.
- 2) Diseño funcional y ergonómico de prótesis para extremidad anterior canina.
- 3) Cálculo mediante elementos finitos, para validar el modelo.
- 4) Impresión 3D, cuyo objetivo ha sido abaratar costes, para que este sea accesible sin perder funcionalidad para todos aquellos que no tienen acceso a una prótesis de mercado.

## 1.2. Justificación

En un mercado de prótesis caninas, en el cuál, el coste es alto debido principalmente a los métodos de fabricación y materiales utilizados hacen que muchas personas no se puedan permitir el acceso a prótesis caninas.

Debido a los conocimientos adquiridos durante la realización de este máster, centrada en los conceptos CAD-CAM-CAE, ha surgido la motivación de este trabajo, la cual es conseguir una prótesis accesible económica y totalmente funcional, para así poder facilitar la vida a muchos perros los cuales han perdido una pata delantera ya sea debido a nacimiento o accidente.

### 1.3. Estructura de trabajo

Este trabajo consta de tres documentos principalmente, los cuales son:

- Memoria
- Presupuesto
- Planos

El documento más extenso es la memoria, ya que cuenta con los siguientes apartados:

- **Marco teórico.** Se introducen conceptos y características protésicas a lo largo de la historia, haciendo principal hincapié en el ámbito canino. También se realiza un estudio del mercado actual de prótesis animales, lo cual servirá para saber las características principales de estas.
- **Diseño.** Se muestra la solución conseguida respecto al diseño, en el cual se justifican las geometrías de los elementos CAD.
- **Cálculo.** A partir del modelo CAD diseñado, se ha realizado un cálculo mediante elementos finitos para poder así evitar posibles fallos a la hora de su uso.
- **Fabricación.** Se ha estudiado el comportamiento de dos plásticos para la impresión estos han sido acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y ácido poliláctico (PLA). También se han estudiado varios parámetros de impresión.
- **Conclusiones.** Donde se detallan resultados finales y posibles mejoras de cara a trabajos futuros

Seguidamente encontramos el documento presupuesto de este proyecto y finalmente, los planos de todas las piezas diseñadas.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Historia de prótesis

El origen de estas se remonta a 3000 a.C, en donde el hombre debido a sus condiciones de vida y materiales disponibles en la época. supo adaptar ciertas deficiencias, tanto estéticas como funcionales, ha sido un largo proceso de evolución que han llevado hasta las diversas tecnologías que nos ayudan a mejorar la calidad de vida de quien lo necesitan. [2]

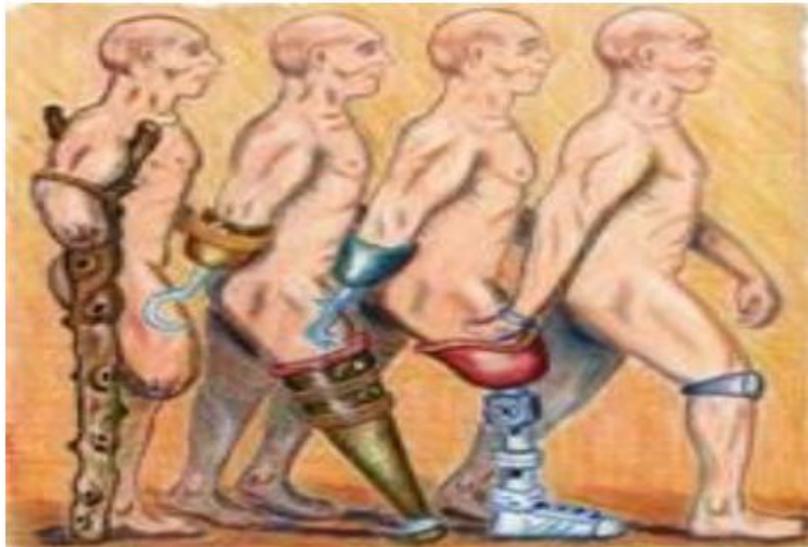


Figura 2. Ilustración evolución protésica.

Los egipcios fueron los primeros pioneros de la tecnología protésica. Estos elaboraban extremidades rudimentarias a partir de materiales como fibras. Se cree que en esta época se utilizaban más por un fin estético que por su función en sí.

#### **Del 424 a.C. al 1 a.C.**

En 1858, se desenterró en Capua, Italia, una pierna artificial que data de aproximadamente 300 a. C. Estaba elaborada con hierro y bronce, y tenía un núcleo de madera; aparentemente, pertenecía a un amputado por debajo de la rodilla.

En 424 a. C., Heródoto escribió sobre un vidente persa condenado a muerte que escapó luego de amputarse su propio pie y reemplazarlo con una plantilla protésica de madera para caminar 30 millas (48.28 km) hasta el próximo pueblo. El erudito romano Plinio el Viejo (23-79 d. C.) escribió sobre un general romano de la Segunda Guerra Púnica (218-210 a. C.) a quien le amputaron el brazo derecho. Se le colocó una mano de hierro para que sostuviera el escudo y pudo volver al campo de batalla.

### **Alta Edad Media (476 d.C.-1000 d.C.)**

En esta época fueron pocos los avances protésicos, a parte del gancho y la pata de palo. Fue una época en la que su utilización era esconder deformidades o heridas de guerra, cuya principal función era sostener un escudo o calzar una pata en el estribo. Fuera del ámbito bélico, solo la gente adinerada se podía permitir prótesis para las funciones diarias.



Figura 3. Garfio [3]

### **El Renacimiento (1400 a 1800)**

Esta época fue el surgimiento de ámbitos como la filosofía, la ciencia y la medicina. Fueron los griegos y los romanos los que renacieron la historia protésica. Principalmente se trataban de prótesis de hierro, acero cobre y madera.

### **Principios de 1500**

En 1508, se elaboró un par de manos de hierro tecnológicamente avanzadas para el mercenario alemán Gotz van Berlichingen después de este perdiera su brazo derecho en la batalla de Landshut. Era posible manejar las manos fijándolas con la mano natural y moverlas soltando una serie de mecanismos de liberación y resortes, mientras se suspendían con correas de cuero.

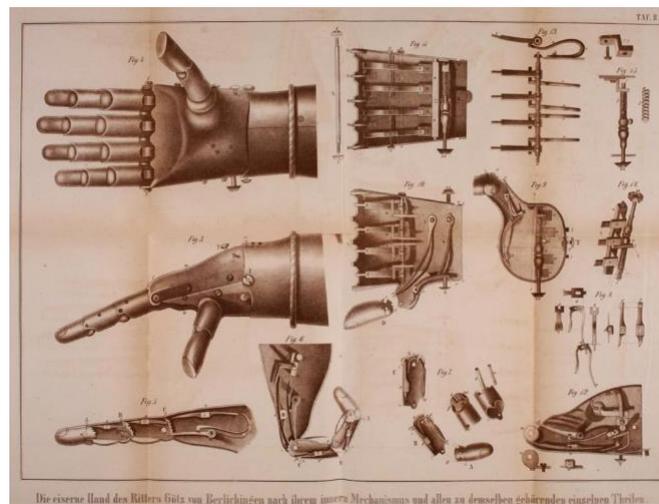


Figura 4. Detalles técnicos construcción de la mano.[4]

Alrededor de 1512, un cirujano italiano que viajaba por Asia registró observaciones de un amputado bilateral de extremidad superior que podía quitarse el sombrero, abrir su cartera y de un brazo de plata elaborado para el almirante Barbarossa, que luchó contra los españoles en Bougie, Algeria, para un sultán turco.

### **Mediados y fines de 1500**

El barbero y cirujano del ejército francés Ambroise Paré era considerado por muchos el padre de la cirugía de amputación y diseño moderno de prótesis.

Fueron numeroso los procedimientos de amputación y prótesis que introdujo en la comunidad médica. Elaboraba estas prótesis para amputados de extremidades superior e inferior. Además, inventó un dispositivo superior a la rodilla, este consistía en una pata de palo que podía flexionarse en la parte de la rodilla, también desarrollo un arnés ajustable entre otras características de ingeniería que se utilizan en dispositivos actuales.

Su obra más reconocida fue la mano mecánica, el cual constaba de un mecanismo basado en engranajes que pretendían ejercer las mismas funciones que las articulaciones de los dedos y la muñeca.

Todos estos méritos y descubrimientos, pese no haber recibido formación médica, le llevaron a convertirse en el medico de reyes franceses como Enrique II o Francisco II.[\[2\]](#)

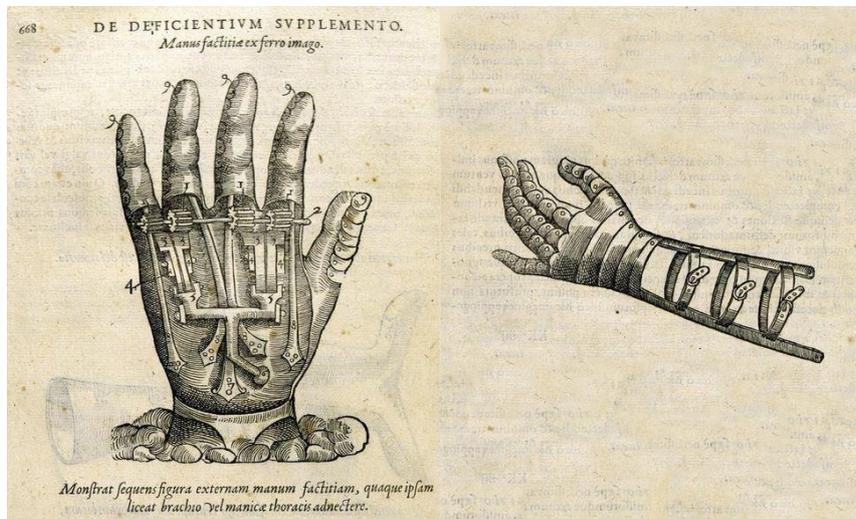


Figura 5. Mano mecánica por Ambroise Paré.

## **Siglos XVII al XIX**

Fue en 1696, cuando Pieter Verduyn desarrolló la primera prótesis por debajo de la rodilla sin mecanismo de bloqueo, lo que sentaría las bases de los actuales dispositivos de articulación y corsé.

En 1800, el londinense James Potts diseñó una prótesis a partir de una pierna de madera con encaje, esta constaba de una articulación en la rodilla de acero y un pie articulado controlado por tendones de cuerda fabricados con tripas de gato, estas unían desde la rodilla hasta el tobillo. Esta fue reconocida como la Pierna de Anglesey, esto fue debido al marques de Anglesey, el cual perdió su pierna en la batalla de Waterloo y fue quien utilizó esta prótesis. Posteriormente William Selpho llevó la Pierna de Anglesey a los EE. UU., donde se le conoció como la Pierna Selpho.



En 1843, Sir James Syme descubrió un nuevo método de amputación de tobillo, esto no implicaba una amputación a la altura del muslo. Esto fue bien recibido por la comunidad médica porque representaba una posibilidad de volver a caminar con una prótesis de pie en lugar de una prótesis de pierna.

En 1846 Benjamin Palmer no encontró razón para que los amputados de pierna tuvieran espacios desagradables entre los diversos componentes y mejoró la pierna Selpho al agregarle un resorte anterior, un aspecto suave y tendones escondidos para simular un movimiento natural.

En 1863, Dubois Parmlee inventó una prótesis avanzada con un encaje de succión, una rodilla policéntrica y un pie multiarticulado. Más tarde, en 1868, Gustav Hermann sugirió el uso aluminio en lugar de acero para que las extremidades artificiales fueran más livianas y funcionales, sin embargo, el dispositivo más liviano tendría que esperar hasta 1912, cuando Marcel Desoutter, un famoso aviador inglés, perdió su pierna en un accidente y elaboró la primera prótesis de aluminio con la ayuda de su hermano Charles, que era ingeniero.[\[2\]](#)

## **Modernidad**

Durante la Guerra Civil Estadounidense, el número de amputados incrementaba de forma desorbitada, esto propició a los estadounidenses a ingresar en el campo protésico. Fue James Hanger, que, tras una amputación en la Guerra Civil, desarrollo lo más tarde se patentó como Extremidad Hanger elaborada con duelas de barril cortadas.

Durante la Primera Guerra Mundial, no se fomentó mucho el avance en este campo. El Cirujano General del Ejército comprendió el debate sobre tecnología y desarrollo protésico, esto dio lugar a la creación de la Asociación

Estadounidense de Ortoprótisis (AOPA), fue en 1950 cuando todos los fabricantes de equipamientos protésicos norteamericanos se unieron a esta sociedad. Fueron muchos los avances que propiciaron prótesis más livianas elaboradas con plástico, materiales compuestos y aluminio.

En la actualidad el desarrollo en ámbitos como microprocesadores, los chips informáticos y la robótica han hecho de las prótesis unos dispositivos capaces de recuperar el estilo de vida anterior a la amputación dejando a un lado aparte la funcionalidad básica.



*Figura 7. Prótesis inteligentes de Hugh Herr*

## 2.2. Prótesis Y Ortesis

### **Prótesis**

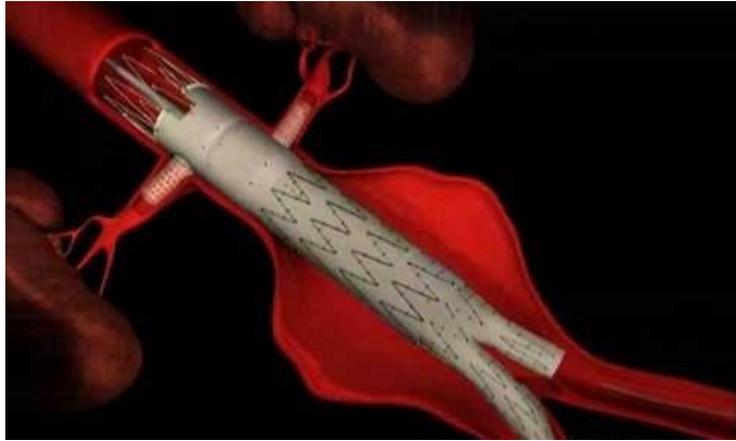
Una prótesis se define como una extensión artificial que reemplaza o provee una parte del cuerpo que falta debido a diversas razones, entre ellas la amputación

Diversos usos tienen las prótesis, como meramente estético (prótesis ocular), hasta prótesis que simulan a la perfección la funcionalidad de una extremidad (mano biónica). Las principales funciones de una prótesis son:

- Restaurar parcial o totalmente la funcionalidad perdida a causa de amputación o malformación congénita.
- Restaurar imagen a nivel estético
- Reinstaurar parcial del centro de gravedad

Son diversas las clasificaciones de las prótesis:

- **Endoprótesis.** Son aquellas que requieren intervención quirúrgica para su colocación, estas tienen un diseño endoesquelético.



*Figura 8. Endoprótesis arterial.*

- **Exoprótesis.** Al contrario que las endoprótesis, estas se pueden retirar, son consideradas aparatos ortopédicos, que a su vez se dividen en:
  - **Motoras.** Se ejecutan con una acción simple.
  - **Sensoriales.** En las cuales ambas extremidades informan la relación con el entorno, y esta, de manera automática calcula la cantidad de fuerza que se debe aplicar por parte del aparato locomotor del individuo.



*Figura 9. Prótesis sensorial.*

Las prótesis también son clasificadas respecto al material de fabricación:

- **Plástico**
- **Resinas**
- **Metal**
- **Láminas de Titanio**
- **Fibra de carbono**

También son clasificadas de acuerdo con la energía presentada, es decir, la energía necesaria para realizar los movimientos con las articulaciones suplidas:

- ❖ **Interna.** El propio individuo mueve la articulación protésica con el resto del aparato locomotor
- ❖ **Externa.** Accionado por sistemas mecánicos, hidráulicos o eléctricos.

## Órtesis

Una órtesis es un apoyo o dispositivo externo ajustado al cuerpo, cuya función es modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético.



Figura 10. Ejemplos órtesis.

Las órtesis se caracterizan principalmente por ser de utilidad como parte de rehabilitación en diversas enfermedades, también brindan funcionalidad, confort y estética y su finalidad es mejorar una función, restringir o reforzar un cierto movimiento.

Las órtesis se pueden clasificar por diferentes características:

**a) Tiempo de utilización.**

- **Temporales.** Utilizada en trastornos limitados en el tiempo.
- **Definitivas.** Utilizadas en déficit o discapacidades definitivas.

**b) Función**

- **Activas.** Sustituyen de forma mecánica una función muscular o ligamentosa, a su vez se dividen en
  - **Activas dinámicas.** Se encargan de sustituir una función muscular.
  - **Activas estabilizadoras.** Se encargan de sustituir la función de uno o varios ligamentos.
- **Pasivas.** Pretenden mantener un segmento del aparato locomotor en una determinada posición, cuando estas no se pueden mantener por sí mismas, se dividen en:
  - **Pasivas correctoras.** Se encargan de corregir una deformidad.
  - **Pasivas posturales.** Su función es mantener un ángulo articular obtenido por otros medios.

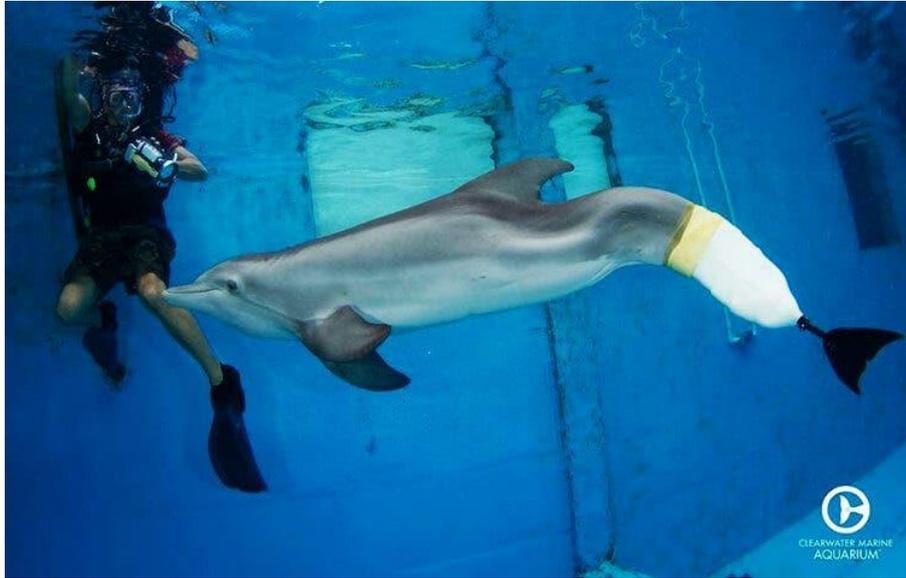
### 2.3. Prótesis animales

Ya sea por problemas de nacimiento o debido a lesiones graves, hay animales que pierden partes de su cuerpo, las cuales son necesarias para una vida funcional.

Hasta hace poco la posibilidad de prótesis en animales era muy escasas debido a su alto coste, es debido al desarrollo de tecnologías como la impresión 3D y la bondad de las personas, que han permitido segundas oportunidades a miles de animales los cuales iban a ser sacrificados o bien no tenían una vida funcional, estos son algunos de los ejemplos en los cuales la evolución protésica en el ser humano ha permitido el desarrollo de prótesis para animales.

### **Prótesis de aleta trasera**

El caso del delfín Winter, fue el primer caso en este tipo de prótesis en el mundo. Esta sufrió heridas en las costas de Norteamérica ya que se quedó atrapada en unas redes de pesca, este hecho le hizo perder la aleta trasera, durante unos meses de cuidado e investigación, Winter recibió una prótesis la cual consiguió recuperar la función principal de su aleta, es decir, la capacidad de impulso.



*Figura 11. Prótesis aleta caudal delfín.*[\[5\]](#)

## **Prótesis para aves**

El pico es una parte del cuerpo en aves que es imprescindible para poder alimentarse y limpiarse.

El caso del águila calva Beauty le hizo perder casi todo su pico por un disparo de un cazador furtivo.

Los veterinarios que la recogieron junto a la colaboración con una empresa de ingeniería consiguieron reconstruirle el pico. Esto permitió que este águila pudiera realizar una vida normal.[\[5\]](#)



*Figura 12. Prótesis pico para aves.*

## **Prótesis en cuadrúpedos**

Los animales cuadrúpedos, es decir, con cuatro patas distribuyen de forma regular el peso sobre estas y suponen la principal estabilidad de estos animales.

No obstante, un animal con tres extremidades, pese a su capacidad de sostenerse sin mostrar apenas problemas, se presentan problemas como es la falta de estabilidad, distribución desigualada del peso sobre las patas, variación del centro de gravedad del animal y dificultades para el movimiento. Todas estas irregularidades reducen la esperanza y calidad de vida del animal.

Por tanto, la incorporación de una prótesis para sustituir el miembro amputado facilita la vida del animal, ya que muchos factores como estabilidad y centro de gravedad se normalizan.



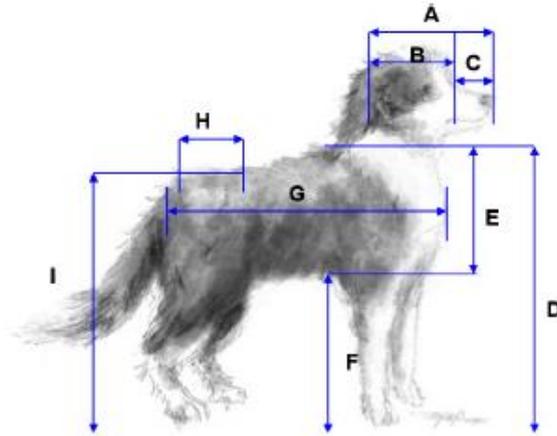
*Figura 13. Prótesis en caballo.*

Estos son algunos de los ejemplos de prótesis en animales que podemos encontrar a lo largo de la historia.

Con el avance del tiempo y gracias al desarrollo de tecnologías y a personas creativas y hábiles, el campo protésico animal sigue evolucionando asombrosamente.

## 2.4. Zoometría canina

Como es obvio un can pertenece al grupo de animales cuadrúpedos, por lo tanto, un aspecto importante a la hora del diseño protésico es conocer las dimensiones y formas de este, es decir, su zoometría.[\[8\]](#)



*Figura 14. Esquema variables zoométricas canina.*

Respecto a la Figura 14 podemos apreciar las siguientes variables:

- A. Longitud de la cabeza
- B. Longitud del cráneo
- C. Longitud de la cara
- D. Alzada de la cruz
- E. Diámetro dorsoesternal
- F. Hueco subesternal
- G. Diámetro longitudinal
- H. Longitud de la grupa
- I. Alzada de la grupa

### 3. Estudio de alternativas

En este apartado se van a estudiar diferentes características de prótesis del miembro anterior canino que existen en la actualidad.

#### 3.1. Tipo prótesis

Son diversas las estructuras que se adoptan a la hora de diseñar una prótesis canina, en este apartado se puede apreciar las principales alternativas adoptadas en el mercado actual. [6]

- **Carros de ruedas**

Posiblemente el producto ortopédico más utilizado en la actualidad, esto es debido a su fácil fabricación y adaptación, se tratarán de carros cuando el problema sea de patas delanteras y sillas cuando se tratan de patas traseras.



*Figura 15. Carro sustitución patas delanteras.*

Dentro de los carros encontramos dos opciones en el mercado:

- Carro de ruedas autoajustable. Opción barata y práctica, Recomendado para perros en desarrollo, ya que es una prótesis con regulación, esto en fase adulta puede ocasionar problemas ya que no se logrará una adaptación al 100%
- Carro de ruedas Individualizadas. Apto para perros los cuales hayan terminado su fase de desarrollo y crecimiento. Se tratan de carros diseñados y construidos específicamente para el animal, por lo que a nivel de adaptación es mejor que el caso anterior, pero esta opción supone un coste mayor.

Estos tipos de prótesis son más comunes cuando el fallo es de ambas patas tanto traseras como delanteras ya que estas no presentan la versatilidad de que puede presentar una exoprótesis individualizada de cada pata.

- **Prótesis individual**

Nos referimos a una Exoprótesis individual cuando esta solo sustituye un miembro y es adaptada al propio muñón de esta.



*Figura 16. Ejemplo prótesis individualizada.*

Estos tipos de prótesis se dividen en tres partes principalmente, esto se puede apreciar en la Figura 17.



*Figura 17. Partes de una prótesis.*

- Adaptador

Parte con la cual se adapta al can, por lo general se utiliza un elemento ligero y flexible, como puede ser plástico o material compuesto con forma cilíndrica o elíptica para el acople al muñón del animal, el cual cuenta con sistema de apriete, de normal se utilizan correas de velcro o similares.

○ Base

Soporte rígido, que sirve de apoyo, en este se soportan todas las cargas debidas al apoyo, podemos encontrar varias clasificaciones en este elemento

❖ Forma:

- Tipo arco o ballesta. Este tipo de base es la que se aprecia en la Figura 17, en este tipo las cargas las soportan las capacidades elásticas del propio material y del arco utilizado.
- Articulado. En este tipo encontramos ciertas articulaciones, las cuales facilitan el movimiento, estas articulaciones vienen dadas por ejes o suspensiones establecidas con gomas elásticas u otros elementos.



*Figura 18. Prótesis con articulación.*

Estas son algunas de las alternativas que han resultado más interesante para este proyecto, ya que el ámbito protésico canino abarca muchas disposiciones y características, llegando hasta prótesis biónicas.

### 3.2. Material

Un elemento vital en las prótesis es el material de su composición, ya que este debe ser un material ligero y resistente, por tanto, estas son algunas de las alternativas más utilizadas a día de hoy:

- **Composite.** Este tipo de material es muy utilizado debido a su alta resistencia y ligereza. El principal inconveniente es que las fibras de estos materiales encarecen el resultado.
- **Plástico.** Son diversos los tipos de plásticos que se utilizan (ABS, PLA, PETG), estos poseen grandes cualidades para la fabricación de prótesis ya que son ligeras y resistentes a presiones.
- **Aluminio.** Al igual que los anteriores es un material ligero, pero al tratarse de un metal supone un proceso de elaboración más complejo, lo que encarece la prótesis.

## 4. Descripción solución adoptada

En primer lugar, para poder diseñar la prótesis se ha necesitado obtener parámetros de la pata (altura y forma). Para esto debido a la situación que ha acontecido se ha utilizado para la fabricación del modelo un perro el cual no le falta ninguna pata delantera, por lo que se ha supuesto la altura del muñón encima del codo para obtener así un diámetro a dicha altura y forma.

Se ha utilizado un escaneo 3D, esta técnica se conoce como ingeniería inversa el cual es un proceso cuyo objetivo es obtener información o un diseño a partir de un producto o elemento real.

Para esto se ha utilizado el sensor XBOX Kinect, este no obtiene un resultado tan preciso como un sensor de alta precisión, pero el resultado obtenido nos permite obtener valores válidos para el diseño.

Por tanto, para obtener todos los parámetros, se han realizado las siguientes tareas:

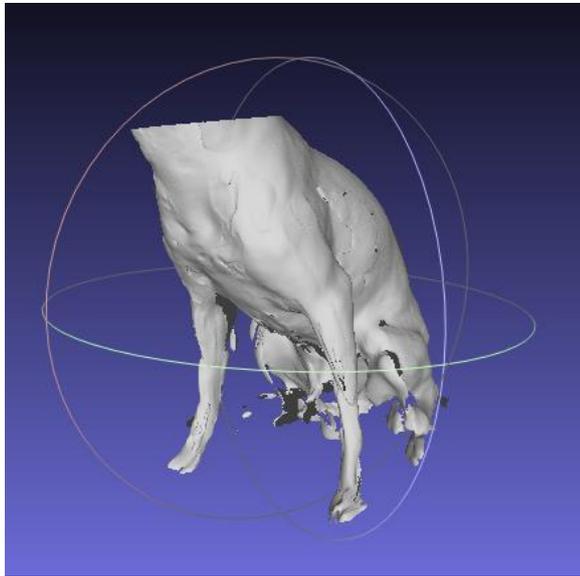
1. Para conocer la altura que tenía la pata, se ha procedido al escaneo del perro. Para esto se ha utilizado un software Open Source (**KScan3D**), este software permite obtener un escaneado tridimensional a partir de capturas realizadas con el sensor Xbox Kinect.

Para realizar el escaneo del can, se ha utilizado una plataforma con posibilidad de giro de 360°, por tanto para realizar el modelo completo se han realizado 260 capturas, lo que significa una captura cada 1,4° para abarcar el rango de los 360°.



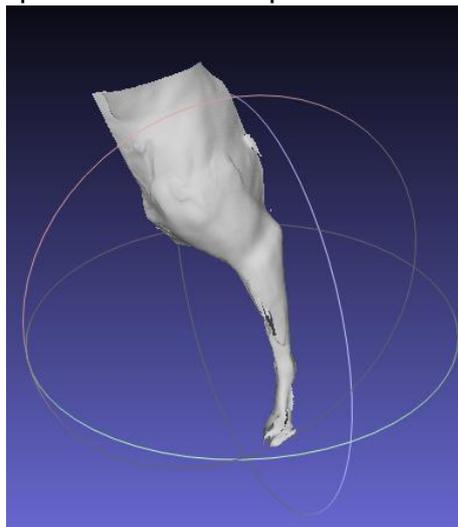
Figura 19. Animal escaneado+ plataforma.

Cabe destacar que debido a las dificultades que conllevan tanto un escaneo 3D y la inmovilidad del can no se han obtenido resultados del animal completo, pero si una forma muy aproximada de una pata delantera.



*Figura 20. Modelo escaneado.*

2. A continuación, se ha utilizado otro software Open Source (**MeshLab**) para eliminar toda aquella malla innecesaria para el desarrollo del proyecto, aislando la pata delantera izquierda.



*Figura 21. Modelo pata delantera izquierda.*

3. Una vez aislada la pata, y suponiendo una altura de muñón por encima del codo, comparamos ambos modelos en **Siemens NX**:

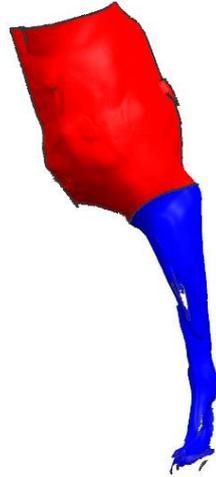


Figura 22. Perfil muñón (rojo).

Esta comparación nos permitirá obtener ciertos parámetros para el desarrollo del modelo.

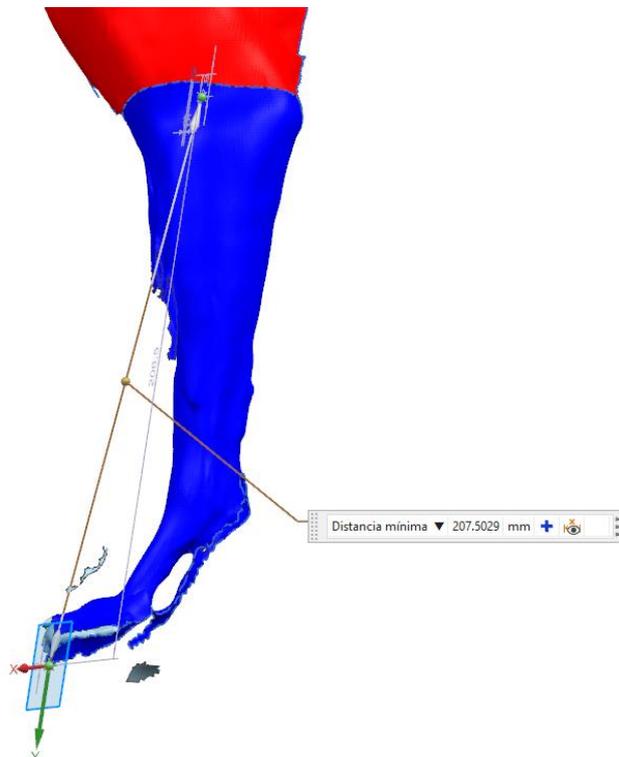
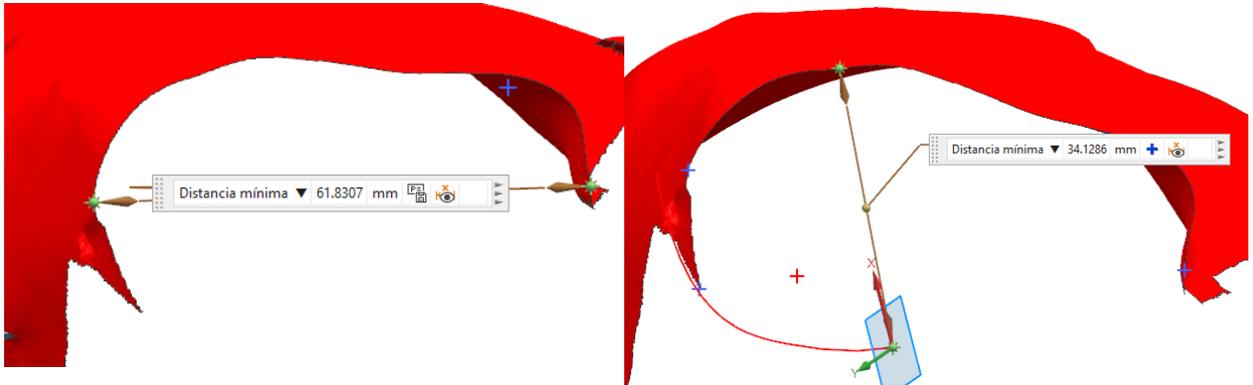


Figura 23. Altura aproximada muñón-pata.

En la figura 23 se aprecia que la altura aproximada es de 207mm. A continuación, se ha visualizado la forma del muñón, y junto a otros casos vistos, la forma se asimila a una elipse, por lo que para obtener un adaptador ajustado, se miden los dos diámetros aproximados característicos de una elipse.



*Figura 24. Diámetros aproximados (mayor y menor)*

Como se ha mencionado antes, debido a la dificultad de las técnicas de escaneo, se han obtenido unos diámetros de elipse de 61.83mm para el diámetro mayor y 34.12mm para el diámetro menor. Para valorar estas medidas, se han comprobado con la medida directa con un pie de rey. Obteniendo unos valores de 59.37mm y 31.25mm respectivamente.

Teniendo en cuenta todas las características de escaneo, la solución adoptada se ha centrado en la versatilidad tanto en apoyo del muñón, como apoyo contra la superficie.

Esto se ha logrado añadiendo ciertas articulaciones en la prótesis, esto ha sido diseñado e inspirado en modelos de impresión 3D que se han analizado en el apartado alternativas.

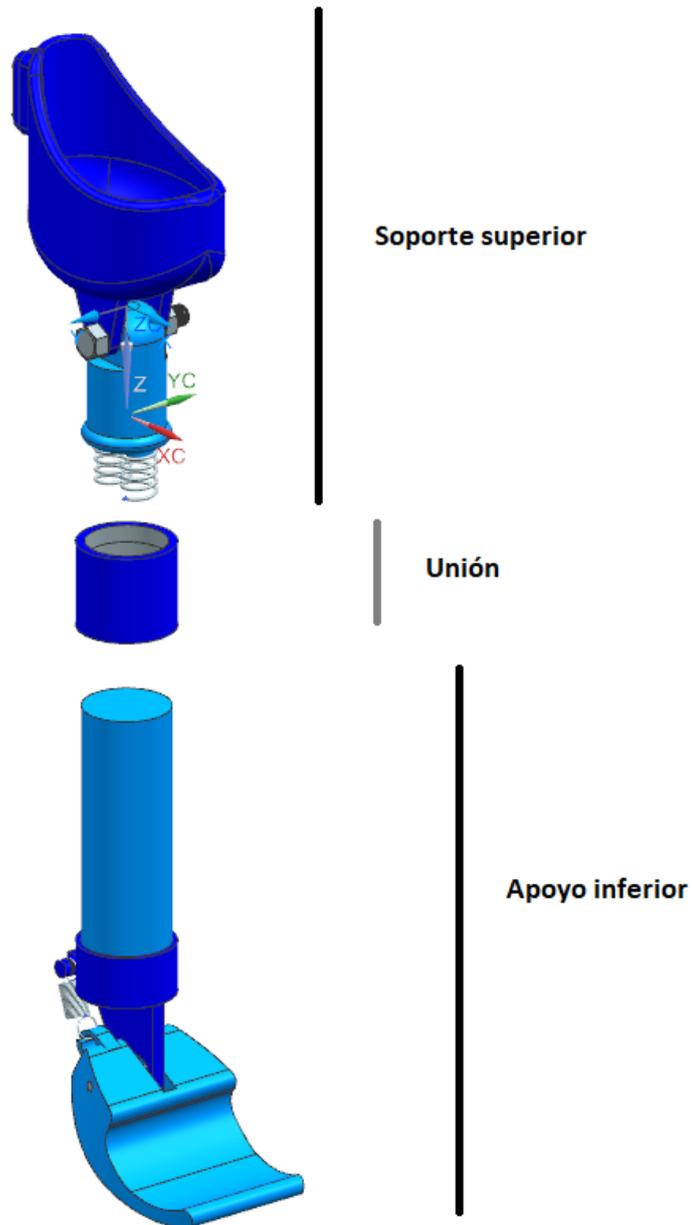
A continuación, se detallan todas las características tanto técnicas como funcionales de este prototipo.



Figura 25. Modelo diseñado.

#### 4.1. Estructura prótesis

Este prototipo se divide en 3 partes, estas se diferencian en la Figura 26.



*Figura 26. Vista explosionada partes prototipo*

Cada subensamblaje tiene una función en particular, los cuales son complementarios en el ensamblaje final.

No obstante, es necesario mencionar el punto de inicio del diseño, es decir, el elemento para el cual se han tenido en cuenta los parámetros de escaneo.

Este elemento característico es el adaptador, el cual tiene unas características particulares:

Teniendo en cuenta la forma del muñón (elipse), se han mayorado los diámetros mayor y menor de la forma elíptica de la cara interna del adaptador (64 y 38 mm), esto es debido ya que no existe un contacto directo entre muñón-adaptador, existiendo un elemento acolchado entre ambos (vendaje, goma elástica, etc)

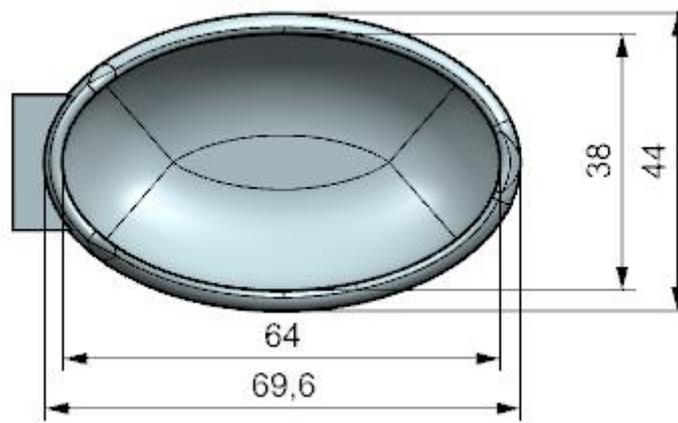


Figura 27. Planta Adaptador.

También cabe mencionar que para el parámetro altura, se ha tenido en cuenta la superficie inferior de la cara interna del adaptador como origen, teniendo una distancia entre esta cara y la cara inferior del apoyo un valor de 200mm en situación de reposo.

- **Soporte superior**

Conformado por el adaptador al muñón y eje que permite articulación en varios rangos:

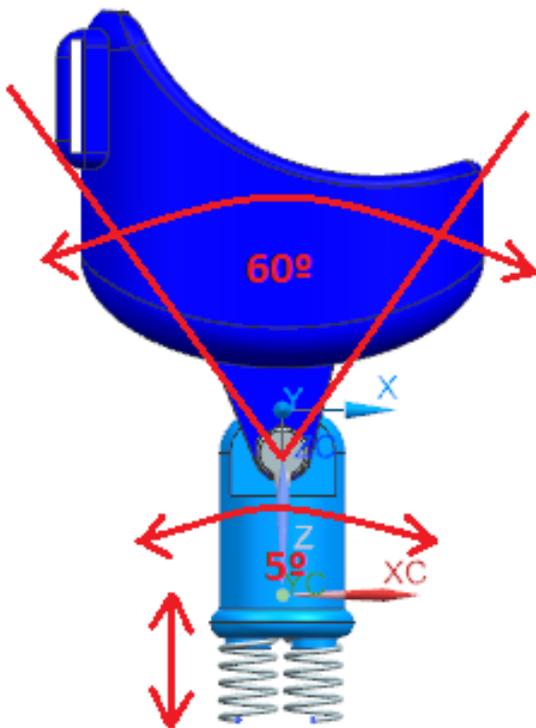
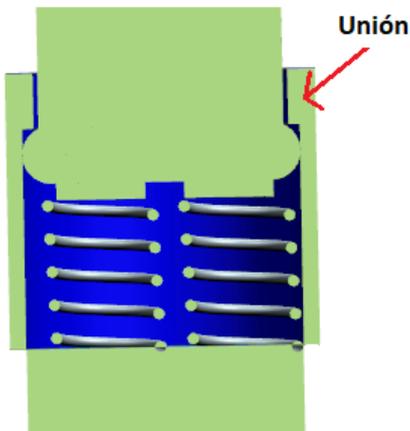


Figura 28. Soporte superior.

1. **Adaptación ángulo anclaje.** Mediante un tornillo M6X30 se pueden fijar el adaptador y el eje permitiendo un ángulo de fijación de  $60^\circ$  aproximadamente.
2. **Rotación modo 'joystick'.** Esta permite una rotación de aproximadamente  $5^\circ$ , esto es posible debido al juego entre eje-unión. Esta rotación permite cierta movilidad cuando el muñón del animal no se encuentre totalmente perpendicular a la superficie de apoyo.
3. **Suspensión vertical.** Esta suspensión permite absorber los impactos con la superficie de apoyo, para así el animal no sentir apenas esfuerzos. Esta suspensión va unida a la parte superior del eje del apoyo inferior.

- **Unión**



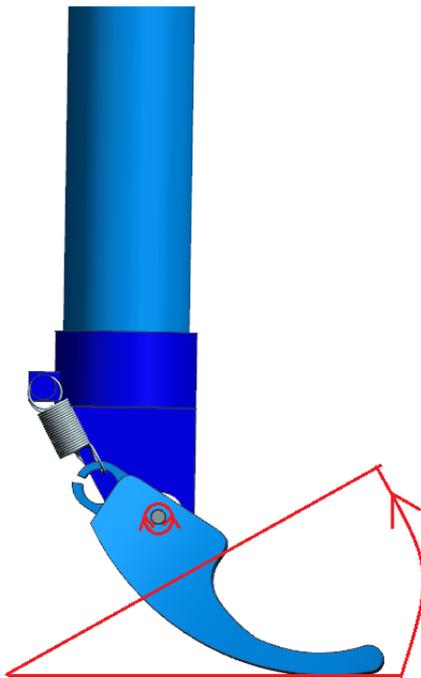
En la figura de la izquierda se aprecia la sección de la prótesis, en la cual se puede ver la función de la unión.

Esta función consiste en el anclaje de ambos ejes (superior e inferior) y servir de hogar para la suspensión visible en la Figura 29 y su apoyo en el eje inferior.

Figura 29. Sección intermedia prótesis

- **Apoyo inferior**

En la Figura 30 podemos ver el alzado del apoyo inferior, en el que destacan las partes:



- **Eje vertical.** Sirve de continuidad del eje superior y es elemento que sirve para aumentar la longitud de la prótesis.

- **Unión Eje inferior-Apoyo (Azul eléctrico).** En este se ha incorporado un rodamiento de dimensiones 10x3x4mm y un par de muelles de tracción (6.4x22mm) los cuales se unen al apoyo mediante un eje al primero y mediante unos enganches fijos el segundo.

- **Apoyo.** Gracias a las articulaciones mencionadas y el tipo arqueado de la base se permite un contacto continuo de esta contra el suelo, teniendo un movimiento elástico gracias a los muelles y una adaptabilidad a irregularidades o pequeñas inclinaciones del terreno, con un límite de movimiento angular del apoyo limitado gracias al contacto entre unión-apoyo.

Figura 30. Apoyo inferior (Reposo)

## 4.2. Materiales

En este apartado se hará mención del material utilizado para el diseño, análisis y fabricación, excluyendo elementos de unión y articulación, es decir, tornillos, muelles y rodamientos.

Para la fabricación se ha realizado mediante impresión 3D, el material utilizado ha sido el ácido poliláctico, más conocido como PLA.

Este material es uno de los más usados en la impresión 3D, esto es debido a que se trata de un polímero biodegradable derivado del ácido láctico. Se fabrica a partir de recursos renovables al 100% ya que proviene de productos ricos en almidón.

Este termoplástico tiene muchas características equivalentes, e incluso mejores que plásticos derivados del petróleo, lo que lo hace un material muy versátil.

Respecto a aspectos físicos, químicos y mecánicos es comparable al polietileno, no obstante, este es más hidrofílico debido a una densidad menor. Es resistente a la luz ultravioleta, lo que dificulta su decoloración, y se trata de un material con una inflamabilidad demasiado baja.

<b>Densidad</b>	1.25g/cm <sup>3</sup>
<b>Módulo de Young</b>	3.5GPa
<b>Elongación de rotura</b>	6%
<b>Límite elástico</b>	72MPa
<b>Resistencia a tracción</b>	47-72MPa
<b>Resistencia a compresión</b>	66-86MPa
<b>Resistencia a la flexión</b>	80MPa
<b>Temperatura de transición vítrea</b>	60°C
<b>Temperatura de deflexión del calor (a 455kPa)</b>	65°C
<b>Comienzo de fusión</b>	160°C
<b>Módulo de corte</b>	2.4GPa
<b>Capacidad calorífica específica</b>	1800 J/kg*K
<b>Relación fuerza-peso</b>	40kN*m/kg
<b>Conductividad térmica</b>	0.13W/m*K

*Tabla 1. Características ácido poliláctico (PLA). [7]*

## 5. Cálculo mediante Elementos Finitos

Una vez realizado el diseño se ha realizado un análisis estático mediante elementos finitos, la finalidad de este cálculo es el conocer el comportamiento del material de impresión. Este análisis ha sido realizado con el módulo de análisis del software **Siemens NX**

Para conocer este comportamiento estático se han realizado unas simplificaciones del modelo.

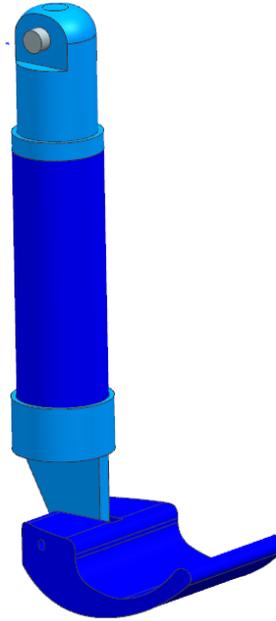


Figura 31. Modelo de análisis

En la figura 31 se aprecia las simplificaciones que se han realizado para el cálculo, entre las cuales destacan las siguientes:

1. **Se ha eliminado el elemento adaptador**, esto es debido que se ha supuesto una restricción fija en este, y debido a la dificultad de mallado se ha eliminado este elemento
2. **Simplificación geometría de tornillo M6X30mm**. El motivo ha sido el mismo que el caso anterior, pero en este caso se ha tomado la decisión de simplificar para tener un punto fijo de referencia.
3. **Eliminación del elemento Unión y muelles intermedios**. La eliminación de estos elemento se debe a que, al tratarse de un análisis estático, el comportamiento del muelle no se puede conocer, por lo tanto, debido a que la unión sirve de guía para estos muelles se ha procedido a su eliminación también.
4. **Contacto entre ejes verticales**. Debido a que se busca conocer el comportamiento del material para cierta carga y ya que no existen los muelles de unión que absorbía las reacciones de la carga se han decidido unir estos, para conocer un comportamiento meramente elástico de los materiales.

5. **Eliminación muelles inferiores.** Al igual que ocurre con los muelles anteriores, debido a que este análisis es estático, se han omitido. Esta omisión también es debida a que la función de estos muelles es la recuperación a una posición de reposo del elemento de apoyo.

En resumen, este análisis se ha realizado para conocer cómo se comporta el material en condiciones más restrictivas, para así valorar su validez para fabricación.

Por tanto, para realizar este análisis se han realizado las siguientes tareas:

1. Se ha asignado el material PLA, para las piezas a imprimir y acero para el tornillo. Para las piezas plásticas se ha definido el material PLA siguiendo las características físicas, mecánicas y térmicas definidas en la Tabla 1.
2. Se ha realizado un mallado de todos los elementos, en los cuales se han obtenido el siguiente modelo de mallado.



*Figura 32. Mallado modelo.*

En la siguiente tabla se definen las características de mallado:

Pieza	Material	Tipo de elemento	Tamaño de elemento	Aspect Ratio
<i>Eje superior</i>	PLA	CTETRA (10)	4mm	4.76
<i>Tornillo</i>	Acero	CTETRA (10)	1.5mm	4.25
<i>Eje inferior</i>	PLA	CTETRA (10)	11mm	4.83
<i>Unión eje inferior-apoyo</i>	PLA	CTETRA (10)	3mm	4.99
<i>Eje apoyo</i>	PLA	CTETRA (10)	2mm	4.65
<i>Apoyo</i>	PLA	CTETRA (10)	2mm	6.32

Tabla 2. Características de mallado.

3. Se ha supuesto una restricción fija en el tornillo que sujeta el adaptador, por lo que, al considerarse fijo, este adaptador se ha omitido para facilitar el cálculo.



Figura 33. Restricción fija.

4. Se han adherido todas las superficies.
5. Se ha aplicado una fuerza vertical, la cual se intenta simular el contacto con el suelo del elemento Apoyo, para esto se ha tenido en cuenta una fuerza de 2,5Kg con un coeficiente de mayoración de 1,5.

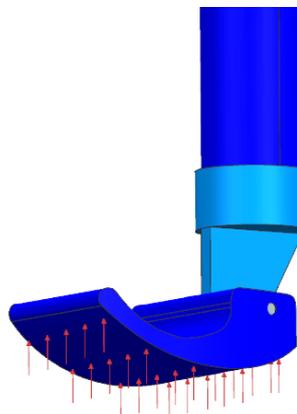
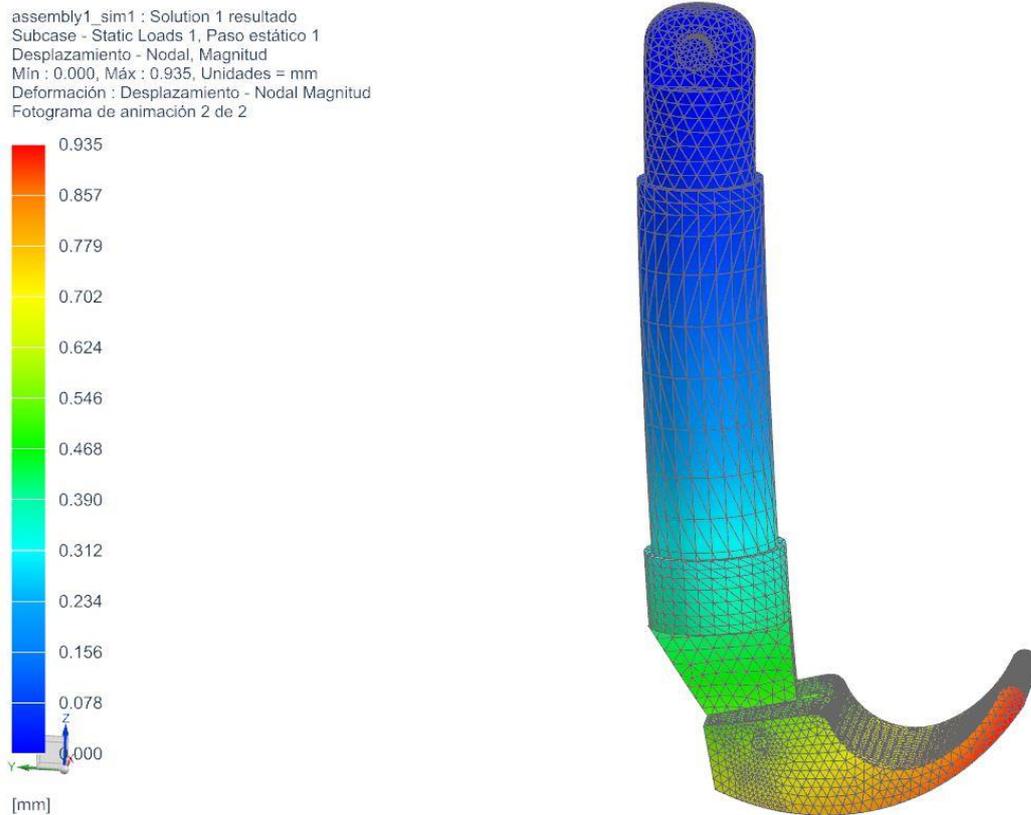


Figura 34. Fuerza de reacción.

Con todos estas características se han obtenido los siguientes resultados:



*Figura 34. Desplazamiento Nodal*

En la Figura 35 se aprecia que el desplazamiento máximo es en la parte posterior del apoyo, con un valor de 0.935 mm. Es evidente que esta será la zona de mayor deformación debido a que es la parte en la cual existe una reacción de fuerza. Estos resultados son admisibles para este material ya que es una deformación admisible para este.

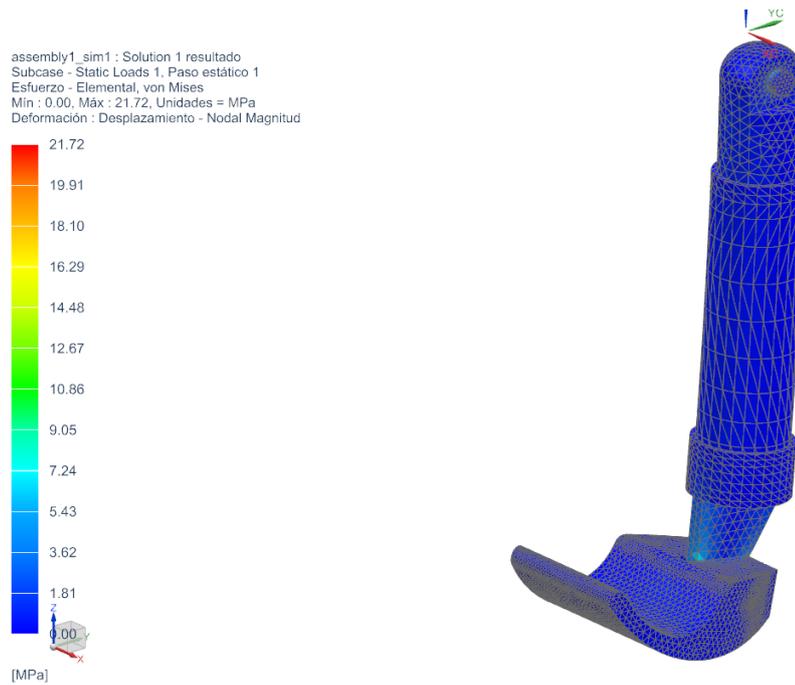


Figura 36. Esfuerzo Elemental.

En la Figura 36 se visualiza es esfuerzo máximo, debido a que en el ensamblaje no se aprecia bien, se han aislado las piezas con un esfuerzo considerable:

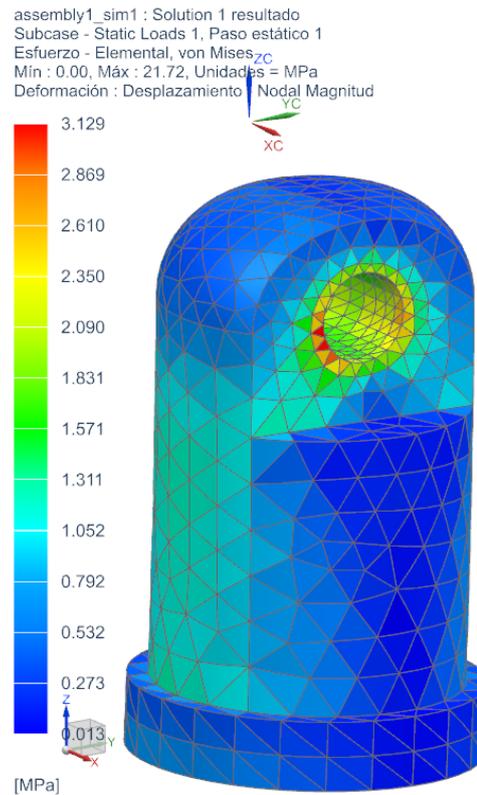
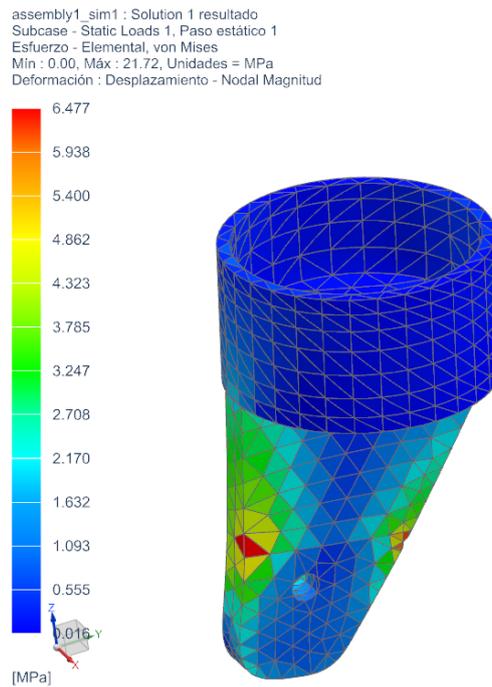
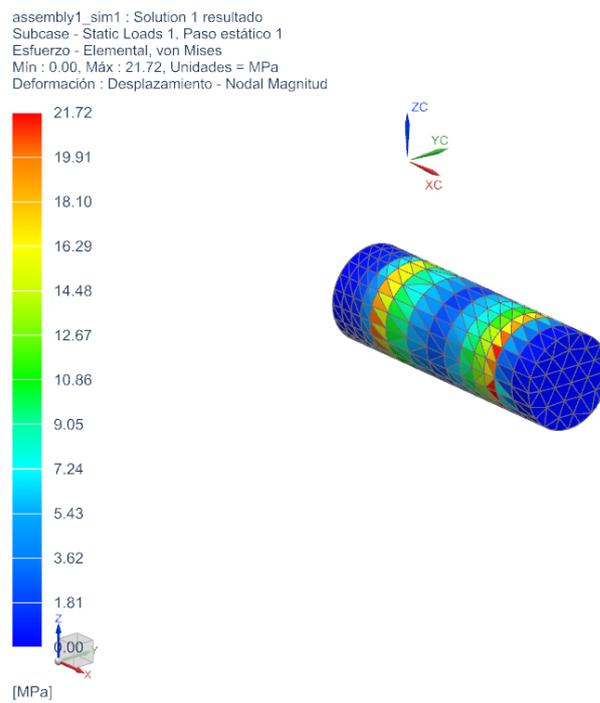


Figura 37. Esfuerzo elemental Eje Superior.



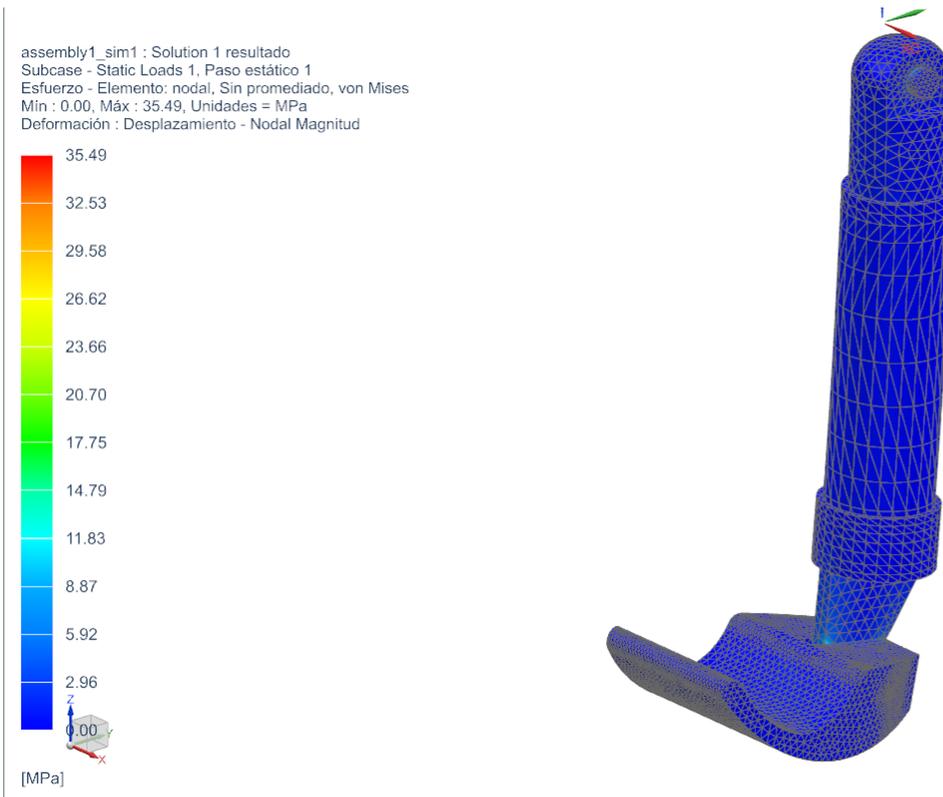
*Figura 38. Esfuerzo Elemental Unión Eje inferior-Apoyo.*



*Figura 39. Esfuerzo Elemental tornillo idealizado.*

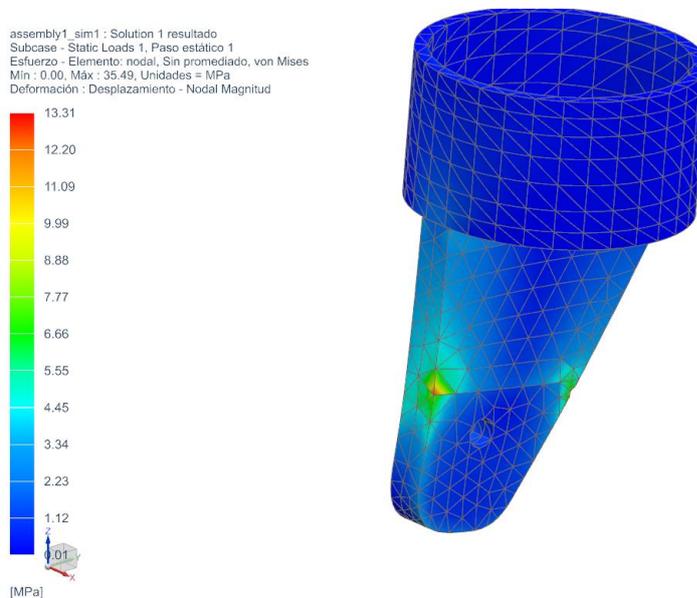
Observando las Figura 39 se observa que el esfuerzo máximo es soportado por el tornillo, con un valor de 21.72 MPa. El material del tornillo es de acero, por lo que este esfuerzo no supone problemas ya que su límite elástico es de 235 MPa.

En las Figuras 37 y 38 se visualizan los esfuerzos máximos para las dos partes de la prótesis impresas, alcanzando un valor máximo de 6.477MPa, un valor muy por debajo de los valores de límite elástico del material (72MPa).



*Figura 40. Esfuerzo elemento nodal.*

En este caso (Figura 40) se aprecia un comportamiento similar al de Esfuerzo Elemental, donde sus valores más característicos se aprecian en los siguientes elementos:



*Figura 41. Esfuerzo elemento nodal Unión Eje inferior-Apoyo.*

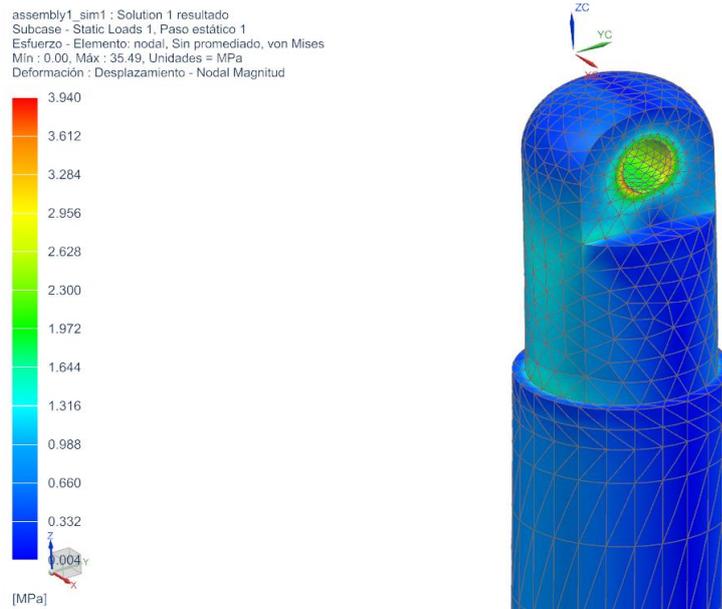


Figura 42. Esfuerzo nodal Eje Superior.

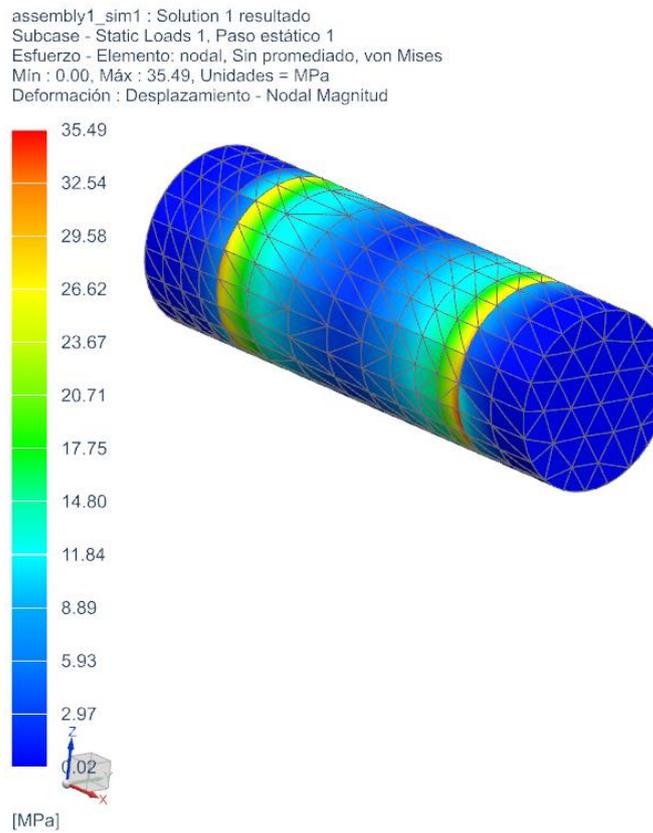
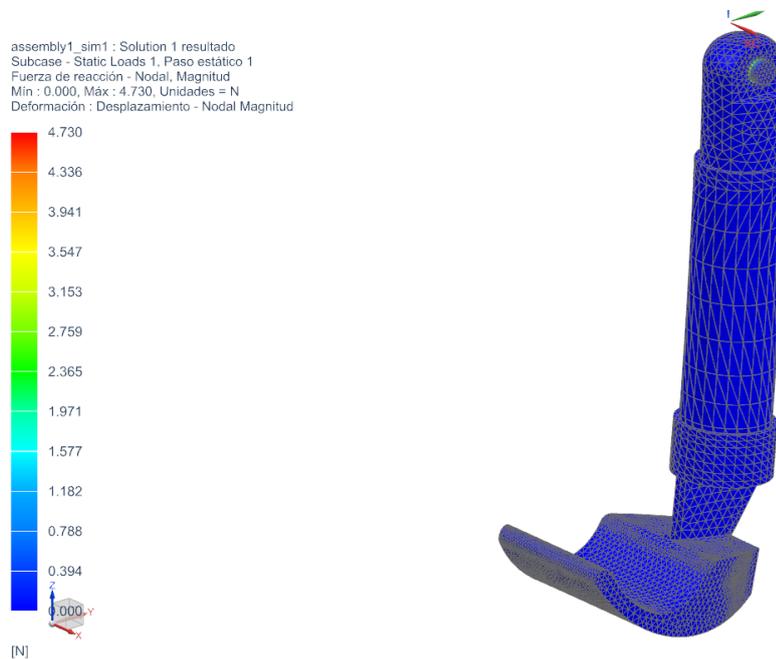
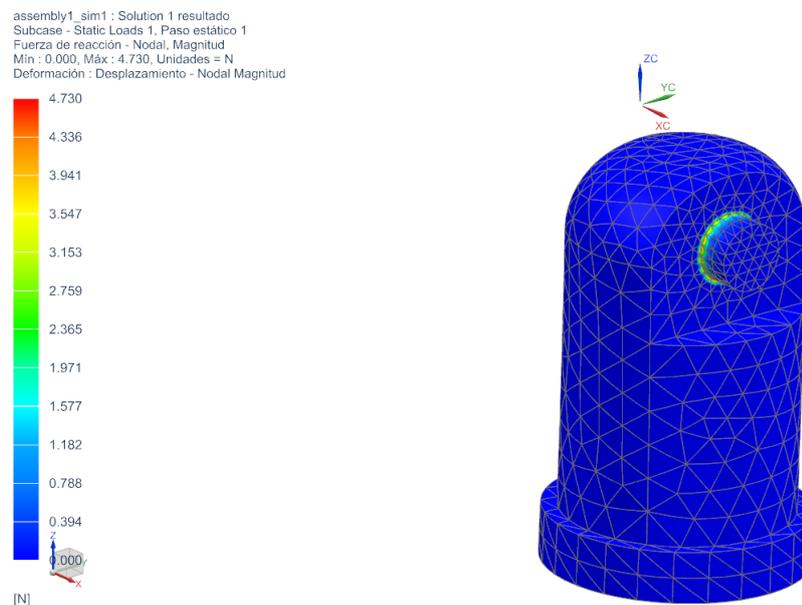


Figura 43. Esfuerzo Nodal tornillo idealizado.



*Figura 44. Fuerza de reacción*



*Figura 45. Fuerza de reacción Eje superior-Tornillo.*

Es evidente que la fuerza de reacción será en el tornillo ya que se trata de un elemento fijo, en la Figura 45 se aprecia que se ha obtenido un valor relativamente bajo, esto supone una ausencia de reacciones en el muñón del animal. Por lo que la eliminación del adaptador para facilitar el cálculo es válido, ya que las reacciones en estas serán despreciables o nulas.

## 6. Fabricación y montaje

Una vez realizado el análisis se ha procedido a la fabricación mediante impresión 3D. Para la fabricación de este se ha utilizado la impresora Creality Ender 3.

Centrando en la impresión se han realizado dos impresiones, esto es debido ya que se ha realizado la impresión de los elementos en dos colores. Las características utilizadas para la impresión han sido las siguientes:

Calidad	
Espesor de capa (mm)	0.2
Espesor de la pared (mm)	0.8
Retracción	Sí
Relleno	
Espesor superior e inferior(mm)	1.2
Densidad (%)	100
Velocidad	
Velocidad impresión (mm/s)	80
Temperatura impresión (°C)	200
Temperatura de la cama (°C)	60
Filamento	
Diámetro(mm)	1.75
Flujo (%)	100

Tabla3. Parámetros impresión 3D.

En primer lugar, se ha realizado una impresión con filamento PLA de color azul, los elementos imprimidos han sido: adaptador, unión, eje inferior, unión eje inferior-apoyo, eje apoyo.

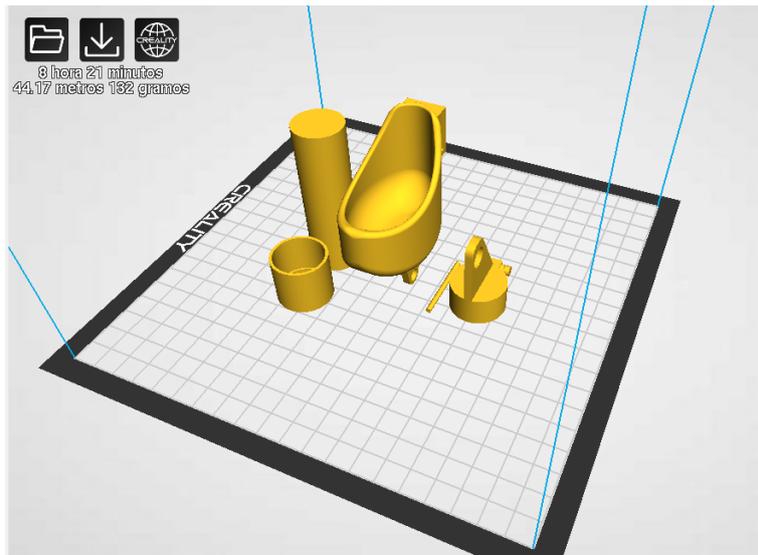
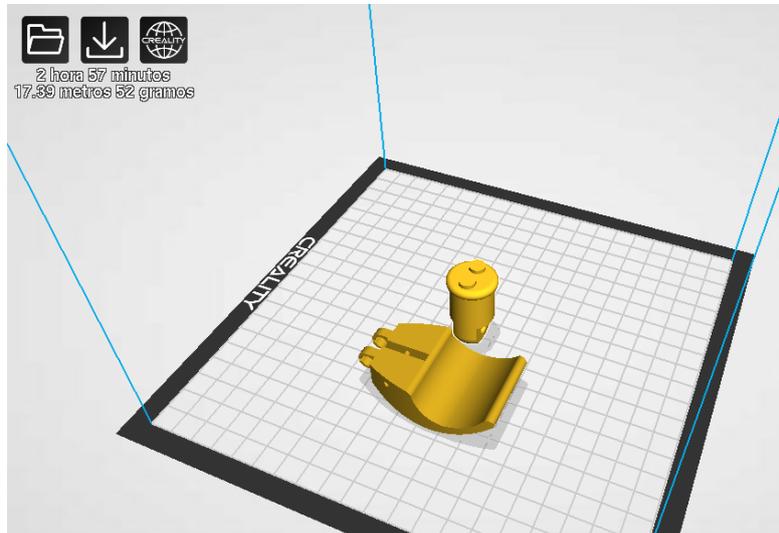


Figura 46. Cama de impresión 1.

*Diseño, análisis e implementación de una prótesis de extremidad delantera canina, mediante técnicas CAD/CAM/CAE, adaptable a cualquier animal a partir de geometría escaneada en 3D*

En la Figura 46 se aprecia que el gasto de material es de 132 gramos, con una duración de impresión de 8 horas y 21 minutos.

Seguidamente se han impreso el resto de los elementos con filamento PLA de color blanco, estos elementos son: eje superior y apoyo.



*Figura 47. Cama de impresión 2.*

En la Figura 47 se observa que el gasto de filamento es de 52 gramos, con una duración de impresión de 2 horas y 57 minutos.

Por tanto, la impresión tiene una duración total de 11 horas y 18 minutos, con un gasto de filamento de 184 gramos.

La finalidad de imprimir en dos colores ha sido meramente con finalidad estética, no hay diferencia de comportamiento entre ambos materiales.

Una vez realizada las impresiones, se ha procedido a realizar el montaje. Para poder realizarse se han necesitado los siguientes elementos adicionales:

- Cinta con velcro.
- Tornillo M6X30 y tuerca M6.
- Rodamiento 10x3x4 mm.
- 2 muelles de compresión.
- 2 muelles de tracción.
- Lámina de plástico antideslizante



*Figura 48. Prototipo impreso.*

Una vez realizado el montaje, el peso total de la prótesis es de 0.250 Kg, es decir una prótesis ligera y adaptable debido a su posible articulación por debajo del adaptador.

Es posible disminuir el peso de la prótesis reduciendo la densidad de impresión, pero en este caso se ha realizado al 100% para ser comparable con el modelo analizado mediante elementos finitos.

## 7. Conclusiones

### 7.1. Conclusiones

Tras la realización de este proyecto, se han obtenido las siguientes conclusiones:

En primer lugar, se ha averiguado que el ámbito protésico es un área de estudio en constante desarrollo, el cual sigue perfeccionándose gracias a ámbitos dentro de la ingeniería como es el comportamiento de materiales, aplicación de electrónica y otras áreas de estudio.

En segundo lugar, el área de prótesis en animales ha cobrado más importancia en estos últimos años, consiguiendo prótesis perfeccionadas a niveles de prótesis humanas.

Seguidamente tras la realización del diseño de un prototipo se ha llegado a la conclusión, que el área de prótesis fabricadas mediante impresión 3D, es un mundo competente respecto a las prótesis existentes en el mercado, teniendo las primeras un precio muy inferior.

A nivel particular de prótesis, se ha buscado desarrollar un prototipo ligero, cómodo y con amortiguamiento de impactos, a la vista de los resultados obtenidos, se puede decir que estos resultados han sido posibles, al menos a modo teórico, ya que, debido a la situación acontecida tras la realización de este proyecto, no ha sido posible su puesta en práctica.

### 7.2. Trabajos futuros

De cara a trabajos futuros respecto a este prototipo, se podrían destacar los siguientes puntos:

- 1) Encontrar un can el cuál cumpla con las características del prototipo, es decir, con un muñón por encima del codo en una pata delantera.
- 2) Utilización de un escáner de mayor precisión, es decir, un escáner cuya aplicación sea el escaneo para el desarrollo de prótesis, esto nos servirá para obtener una forma más fiel a la realidad, aparte de obtener de forma más fácil los parámetros.
- 3) Adaptación de la cara interna del adaptador a la forma del muñón a partir de un escaneo exhaustivo de la forma del muñón.
- 4) Parametrización del diseño a partir de los parámetros de escaneo.
- 5) Análisis de otros materiales, cuyas características sean de un plástico con mayor elasticidad, como puede ser el tereftalato de polietileno glicol (PETG).

# **BIBLIOGRAFÍA**

*Diseño, análisis e implementación de una prótesis de extremidad delantera canina, mediante técnicas CAD/CAM/CAE, adaptable a cualquier animal a partir de geometría escaneada en 3D*

[1] “Porcentaje de hogares que tenían al menos un perro como mascota en la Unión Europea en 2018, por país”

<https://es.statista.com/estadisticas/571027/hogares-con-un-perro-como-mascota-por-pais/>

Último acceso: 27/04/2020

[2] Karina Galli/ Sabrina Pelozo: “Órtesis y prótesis, Monografía Auditoria medica 2017”

Último acceso: 27/04/2020

[3] Miguel ángel Pardo Jiménez, Juan Ignacio Latorre Bien: “Diseño de una prótesis canina para extremidades delanteras”

Ultimo acceso: 28/04/2020

[4] “Götz von Berlichingen: El hombre de la mano de hierro (1504)”

<https://www.neoteo.com/gotz-von-berlichingen-el-hombre-de-la-mano-de-hierro/>

Último acceso: 28/04/2020

[5] Laura Huelin: “Animales con prótesis”

<https://www.neoteo.com/gotz-von-berlichingen-el-hombre-de-la-mano-de-hierro/>

Último acceso:28/04/2020

[6] Javier Fornell: “Ortopedia para perros: tolo lo que necesitas saber”

<https://toppercan.es/ortopedia-perros/>

Último acceso:28/04/2020

[7] “Materiales de impresión 3D (I): PLA (ácido poliláctico)”

<http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/#:~:text=El%20PLA%20es%20en%20su,para%20otros%20productos%20no%20alimenticios.>

Último acceso:03/05/2020

[8] Primera caracterización morfoestructural y faneróptica del perro ovejero Magallánico

[http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-05922014000200015](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-05922014000200015)

Último acceso:03/05/2020

# **PRESUPUESTO**

## 8. Presupuesto

### 8.1. Introducción

En este apartado se expondrán los diferentes costes de realización total de este proyecto. Se desglosará en tres apartados: coste mano de obra, coste equipos usados y materiales adquiridos.

Debido a que algunos de los elementos no han sido necesarios su adquisición, se tendrá en cuenta las amortizaciones de estos

### 8.2. Cálculo de costes

- **Mano de obra**

Para calcular el coste de mano de obra se ha tenido en cuenta el tiempo empleado para el diseño y cálculo del prototipo y su posterior montaje. El total de días laborales empleados en este proyecto han sido de 37 días laborales (8h/día). Por tanto, teniendo en cuenta el salario de un graduado en ingeniería Técnica en el Boletín Oficial del Estado:

Trabajador	Precio unitario [€/h]	Cantidad	Unidad	Total [€]
<b>Ingeniero técnico</b>	20	300	horas	6000
<b>Ingeniero Coordinador de proyecto</b>	50	30	horas	1500
<b>Subtotal mano de obra</b>				<b>7500</b>

*Tabla 4. Costes mano de obra.*

- **Materiales**

En este apartado se detallan los materiales necesarios para la realización del prototipo:

Descripción	Ud.	Cantidad	Precio[€/Ud.]	Importe [€]
<b>Filamento PLA</b>	Gramos	184	0.02	3.68
<b>Tornillo M6X30</b>	Ud.	1	0.10	0.10
<b>Correa Velcro</b>	Ud.	1	2.00	2.00
<b>Muelle compresión</b>	Ud.	2	0.23	0.46
<b>Muelle tracción</b>	Ud.	2	0.23	0.46
<b>Rodamiento de bolas</b>	Ud.	1	0.58	0.58
<b>Adhesivo instantáneo</b>	Mililitros	0.5	0.14	0.07
<b>Subtotal materiales</b>				<b>7.35</b>

Tabla 5. Costes materiales.

- **Elementos fungibles**

A continuación, se detallan los elementos fungibles, es decir, aquellos elementos que, tras su uso, no es posible recuperarlos.

El elemento fungible ha sido el consumo eléctrico tanto a nivel de diseño como de fabricación, actualmente el precio medio es de aproximadamente 0.099€/kWh. Con este precio se estimará el consumo de los siguientes elementos:

Elemento	Potencia [kW]	Rendimiento	Cantidad [h]	Consumo eléctrico [€]
<b>Ordenador</b>	0.5	100%	220	10.89
<b>Impresora 3D</b>	3	100%	18.3	5.44
<b>Sensor Kinect</b>	0.5	100%	3	0.15
<b>Subtotal consumo eléctrico</b>				<b>16.48</b>

Tabla 6. Costes elementos fungibles.

- **Amortizaciones**

A lo largo del proyecto han sido varios los equipos utilizados, para contabilizar el desgaste producido tras el proyecto se estudiarán en este apartado.

Para realizar las amortizaciones de los equipos, se considerará que el máximo tiempo de funcionamiento son 40 horas semanales y 46 semanas al año.

Elemento	Coste [€]	Vida útil [años]	Amortización unitaria [€/h]	Cantidad	Unidades	Amortización total [€]
<b>Ordenador</b>	800	5	0.09	220	horas	19.80
<b>Impresora 3D</b>	200	1	0.11	18.3	horas	2.01
<b>Sensor Kinect</b>	50	1	0.03	3	horas	0.09
<b>Subtotal amortizaciones</b>						<b>21.90</b>

*Tabla 7. Costes amortizaciones*

- **Herramientas informáticas**

Para el diseño de los elementos y cálculo ha sido necesario la adquisición de diferentes herramientas informáticas. En este apartado se mencionarán la adquisición de licencias necesarias. Como es evidente no se tendrán en cuenta las herramientas informáticas de código abierto y aquellas que venían con la adquisición de equipos.

Programa	Precio licencia [€]
<b>Siemens NX 12</b>	1200
<b>Subtotal herramientas informáticas</b>	<b>1200</b>

*Tabla 8. Coste herramientas informáticas.*

### 8.3. Resumen presupuesto

A continuación, se detalla el presupuesto total para la realización del proyecto, al cual se sumarán los gastos generales (13%) y el IVA (21%), este último solo será aplicable al apartado mano de obra, ya que el resto ya lleva incorporado el respectivo IVA.

<b>Tipo</b>	<b>Costes [€]</b>
<b>Mano de obra</b>	7500.00
<b>Materiales adquiridos</b>	7.35
<b>Elementos fungibles</b>	16.48
<b>Amortizaciones</b>	21.90
<b>Herramientas informáticas</b>	1200
<b>Subtotal</b>	<b>8745.73</b>
<b>Gasto generales (13%)</b>	1136.95
<b>IVA (21%) (Mano de obra)</b>	1575.00
<b>Presupuesto total</b>	<b>11457.68</b>

Tabla 9. Presupuesto total.

El presupuesto total del proyecto es de:

**ONCE MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA Y SIETE EUROS CON SESENTA Y OCHO CÉNTIMOS.**

*Diseño, análisis e implementación de una prótesis de extremidad delantera canina, mediante técnicas CAD/CAM/CAE, adaptable a cualquier animal a partir de geometría escaneada en 3D*

# PLANOS

1 2 3 4 5 6 7 8

A

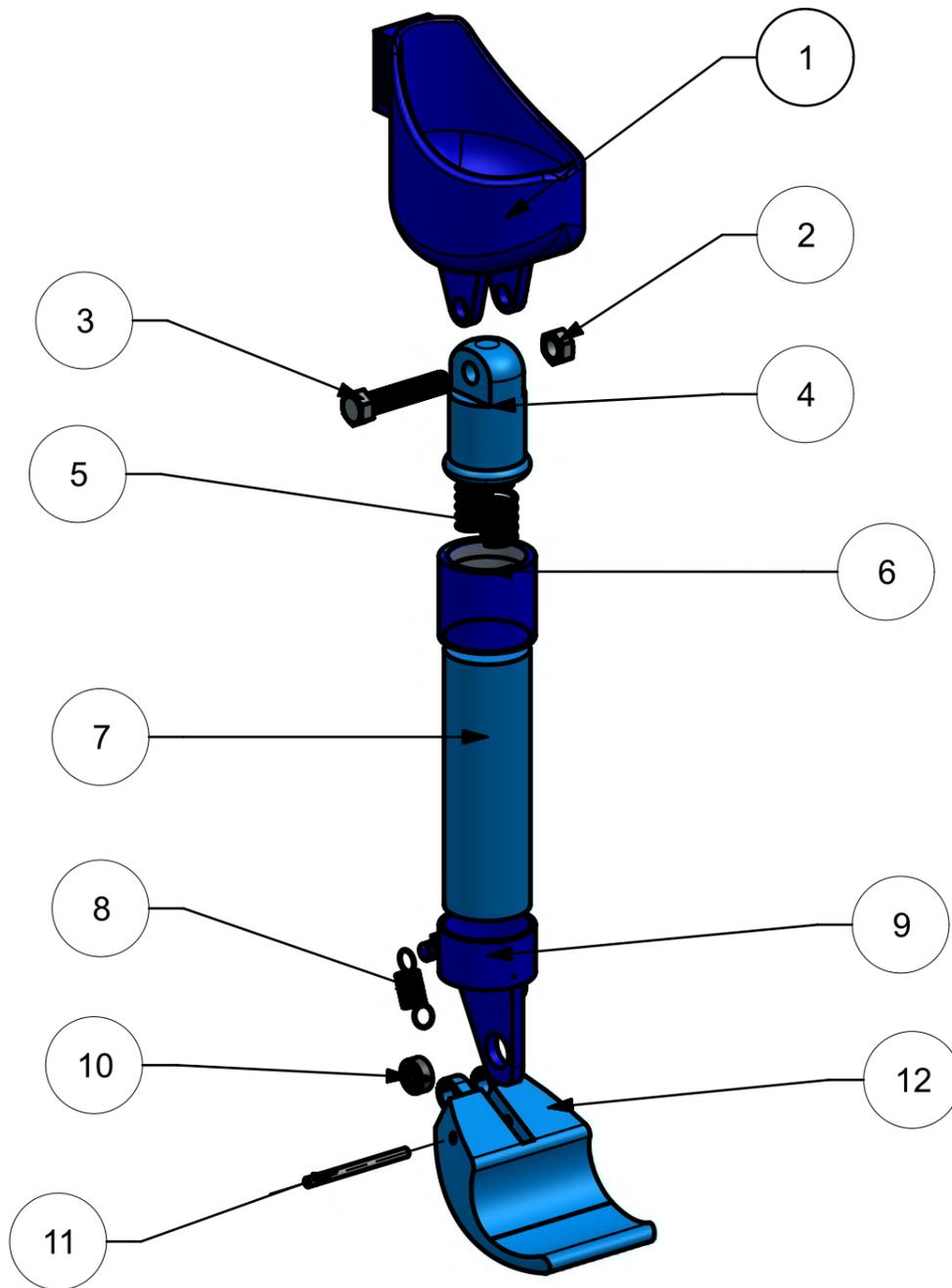
B

C

D

E

F



Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Adaptador	PLA	1
2	Tuerca M6	Acero	1
3	Tornillo cabeza hexagonal M6X30	Acero	1
4	Eje superior	PLA	1
5	Muelle compresión 9,5x19,1	Acero	2
6	Unión	PLA	1
7	Eje inferior	PLA	1
8	Muelle tracción 6,4x22.2	Acero	2
9	Unión eje-pata	PLA	1
10	Rodamiento bolas 10X4X3	Acero	1
11	Eje pata	PLA	1
12	Apoyo	PLA	1



**Escala: 1:2**

<b>Creado por:</b>	Juan Francisco Rodríguez Franco	Fecha: 20/06/2020
<b>Aprobado por:</b>	Gustavo Manuel Salvador Herranz	Fecha: 07/07/2020
Unidades en: mm Tolerancia lineal: ±0.1mm	<b>EXPLOSIÓN PROTOTIPO</b>	
	Material:	Hoja: 1/8

1 2 3 4 5 6 7 8 A3

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

D

E

F

A

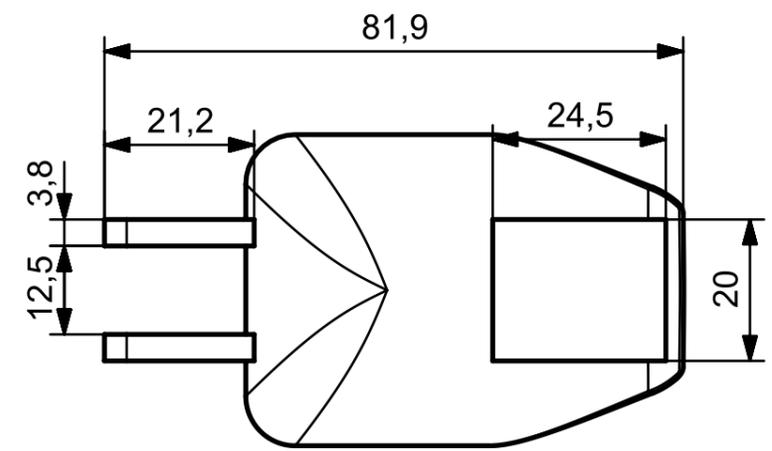
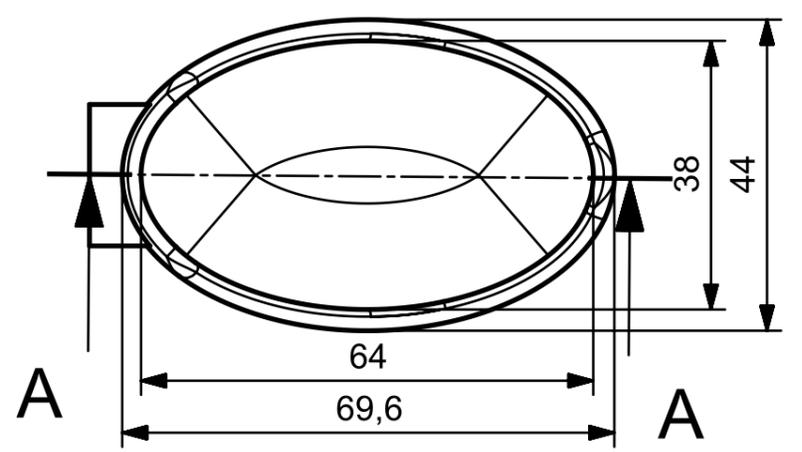
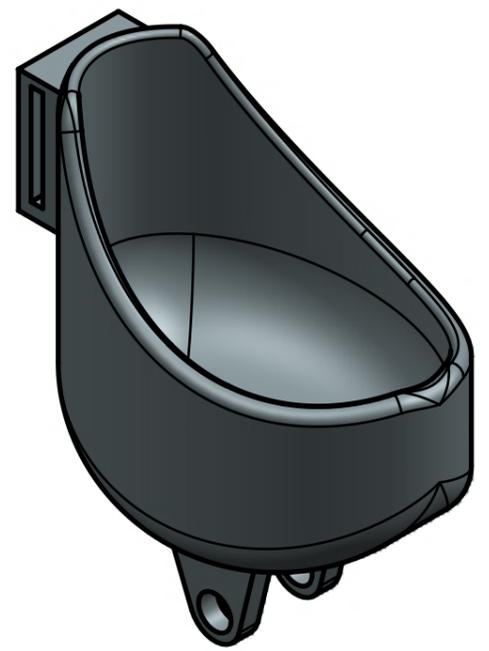
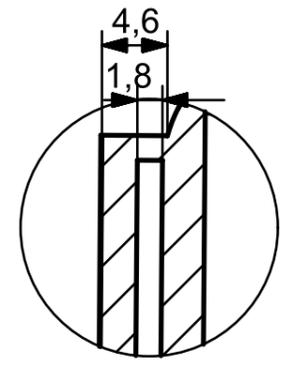
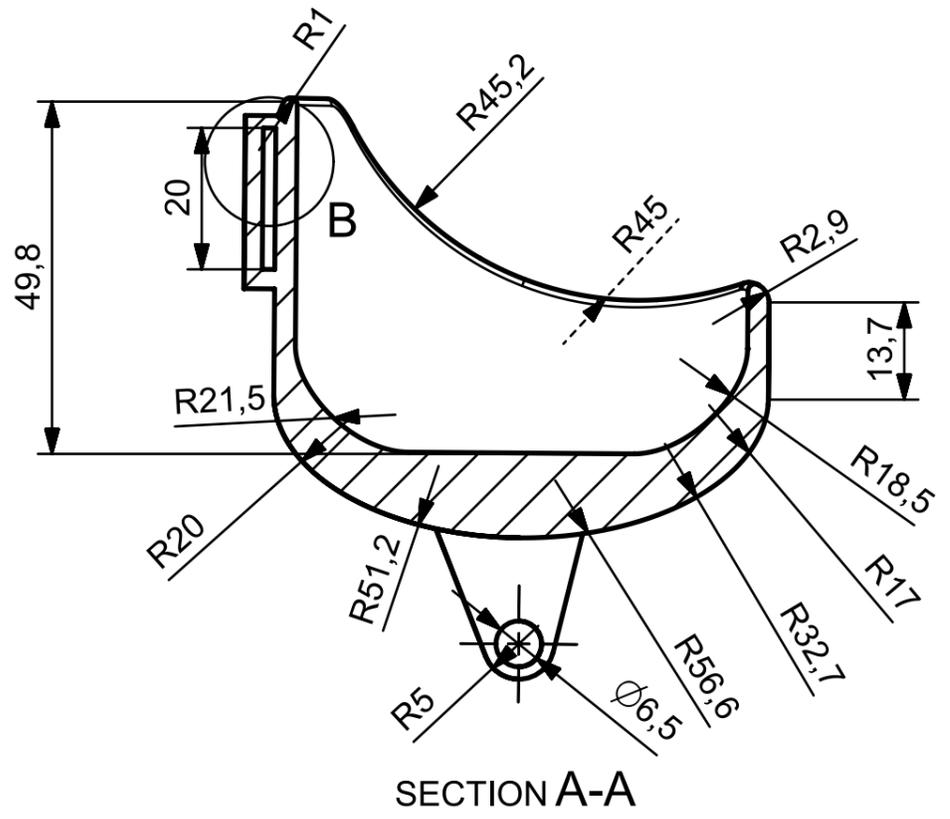
B

C

D

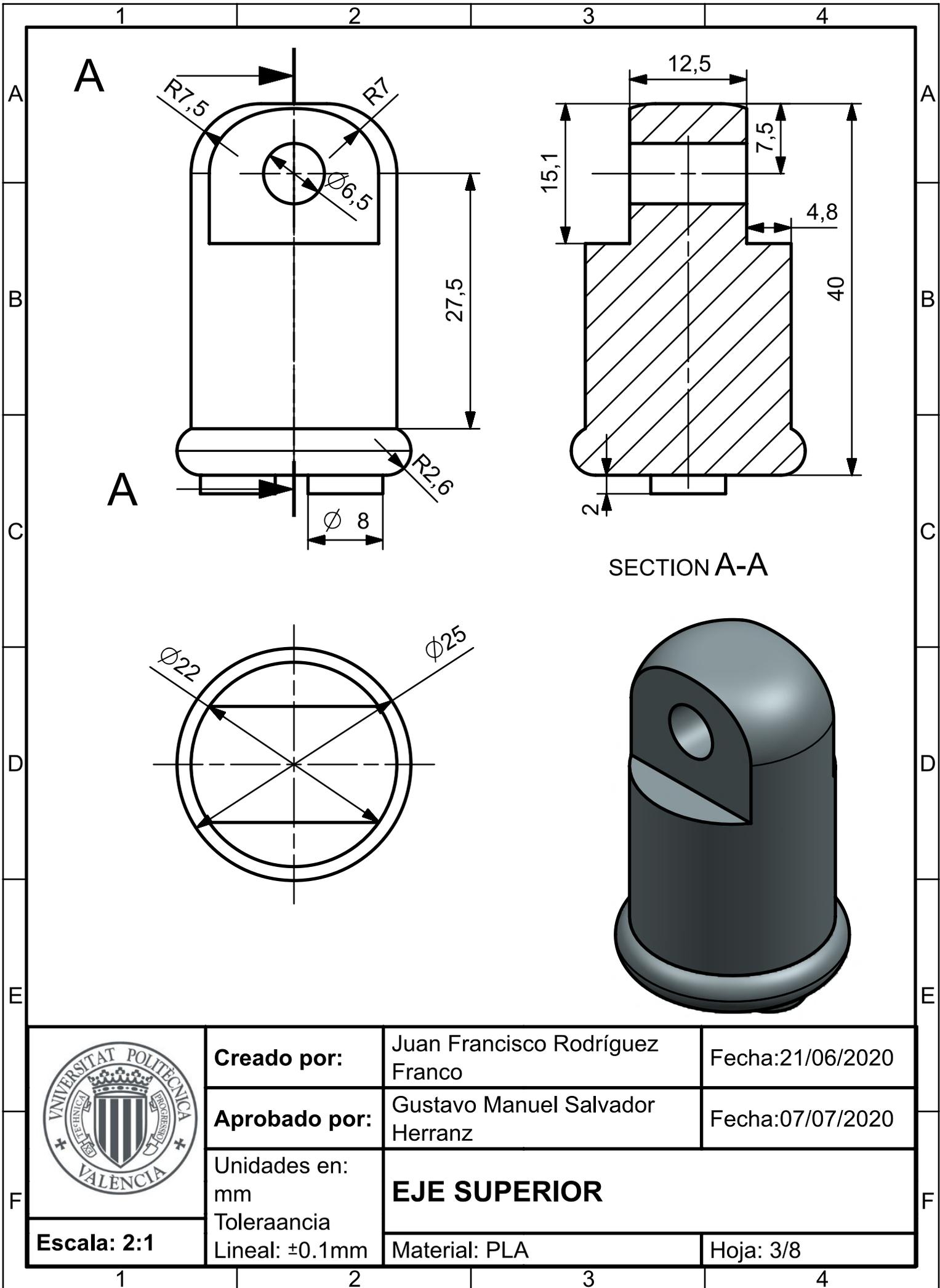
E

F



	<b>Creado por:</b>	Juan Francisco Rodríguez Franco	Fecha: 21/06/2020
	<b>Aprobado por:</b>	Gustavo Manuel Salvador Herranz	Fecha: 07/07/2020
	Unidades en: mm Tolerancia lineal: ±0.1mm	<b>ADAPTADOR</b>	
<b>Escala: 1:1</b>	Material: PLA	Hoja: 2/8	

1 2 3 4 5 6 7 8



**Creado por:**

Juan Francisco Rodríguez Franco

Fecha: 21/06/2020

**Aprobado por:**

Gustavo Manuel Salvador Herranz

Fecha: 07/07/2020

Unidades en:  
mm

**EJE SUPERIOR**

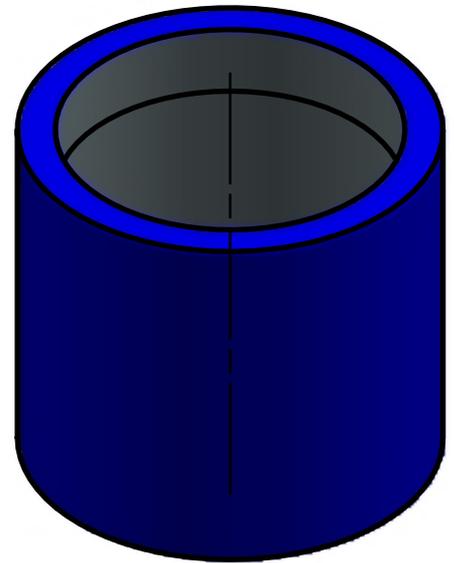
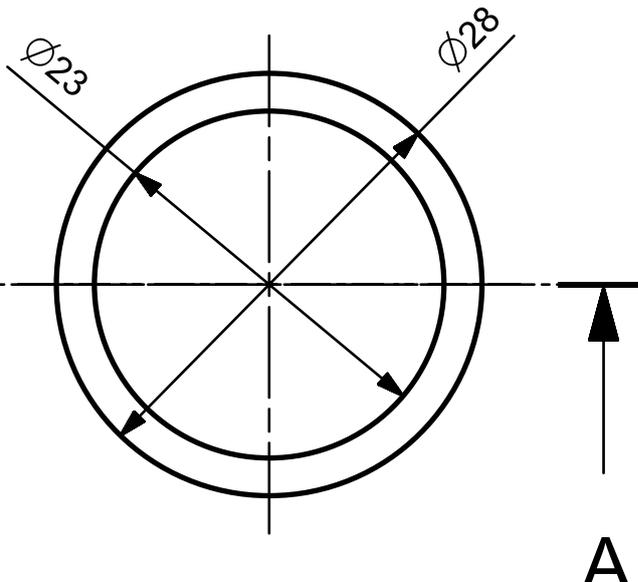
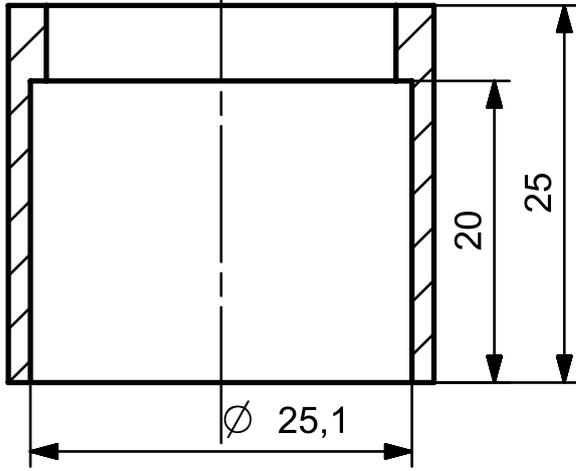
Toleraancia  
Lineal: ±0.1mm

Material: PLA

Hoja: 3/8

**Escala: 2:1**

SECTION A-A



**Creado por:**

Juan Francisco Rodríguez Franco

Fecha:  
21/06/2020

**Aprobado por:**

Gustavo Manuel Salvador Herranz

Fecha:  
07/07/2020

Unidades en:  
mm

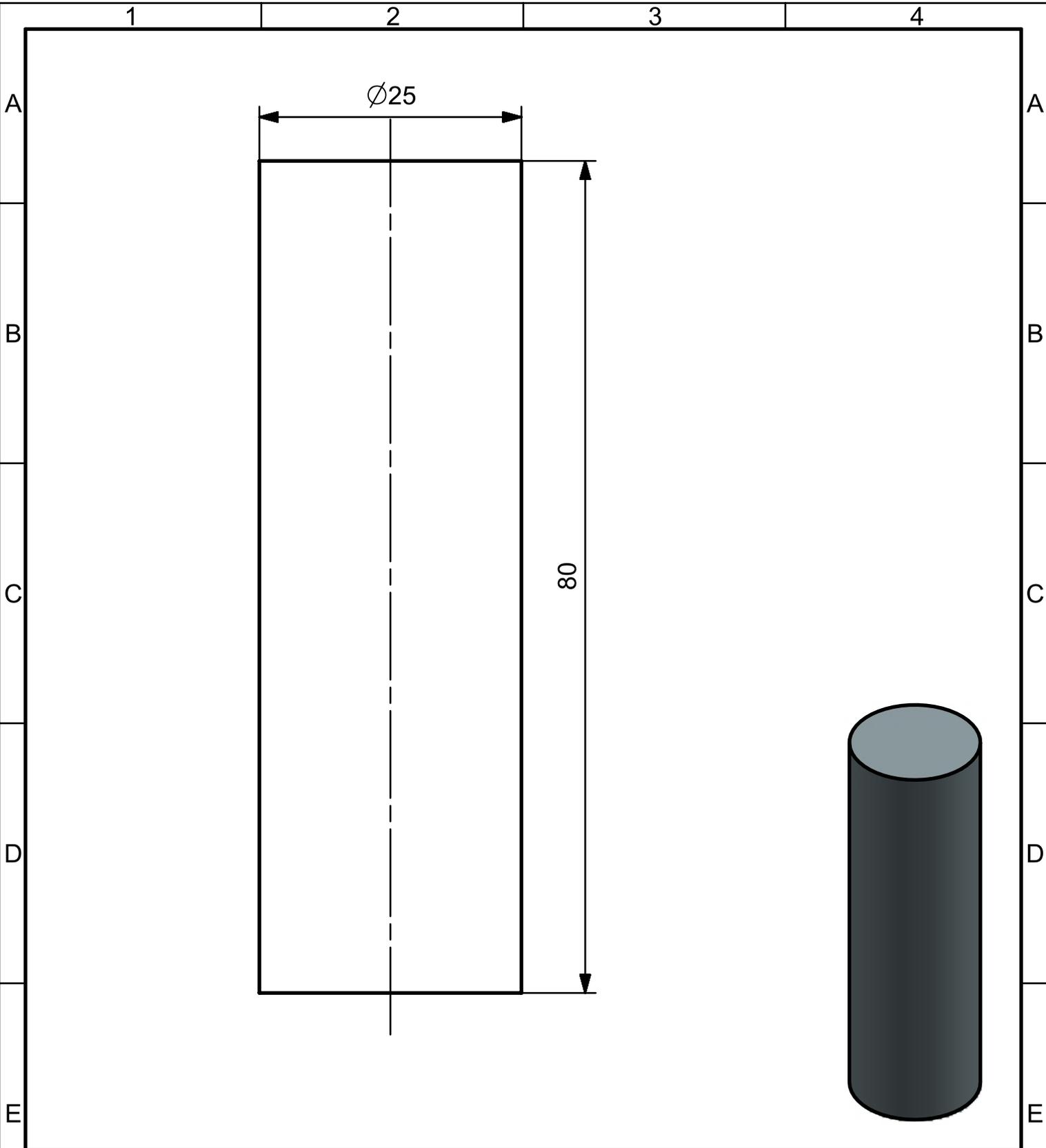
**UNIÓN**

**Escala: 2:1**

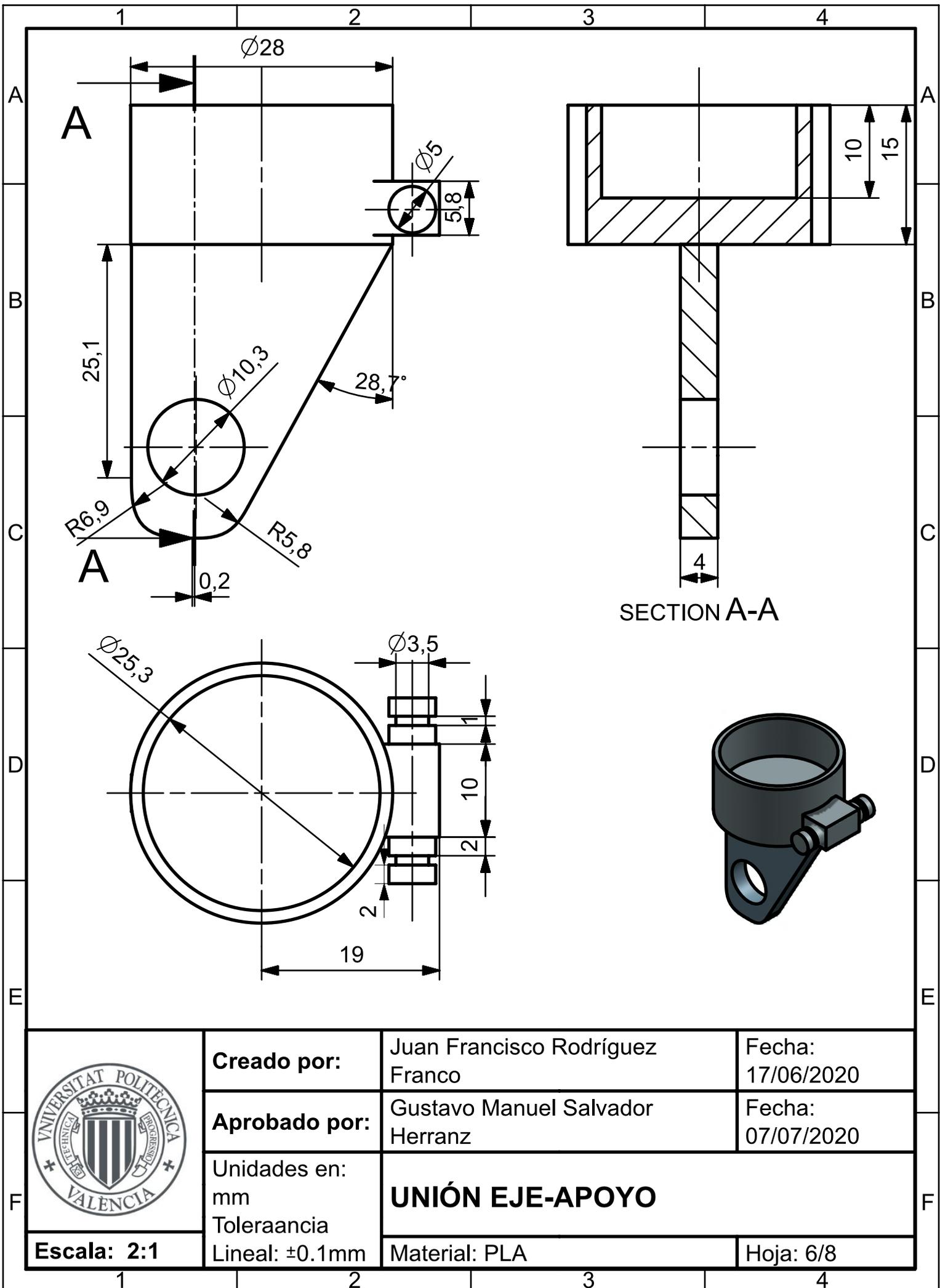
Toleraancia  
Lineal: ±0.1mm

Material: PLA

Hoja: 4/8



	<b>Creado por:</b>	Juan Francisco Rodríguez Franco	Fecha: 20/06/2020
	<b>Aprobado por:</b>	Gustavo Manuel Salvador Herranz	Fecha: 07/07/2020
	Unidades en: mm Toleraancia Lineal: ±0.1mm	<b>Eje inferior</b>	
<b>Escala: 2:1</b>	Material:	PLA	Hoja: 5/8



**Creado por:**

Juan Francisco Rodríguez Franco

Fecha:  
17/06/2020

**Aprobado por:**

Gustavo Manuel Salvador Herranz

Fecha:  
07/07/2020

Unidades en:  
mm  
Toleraancia

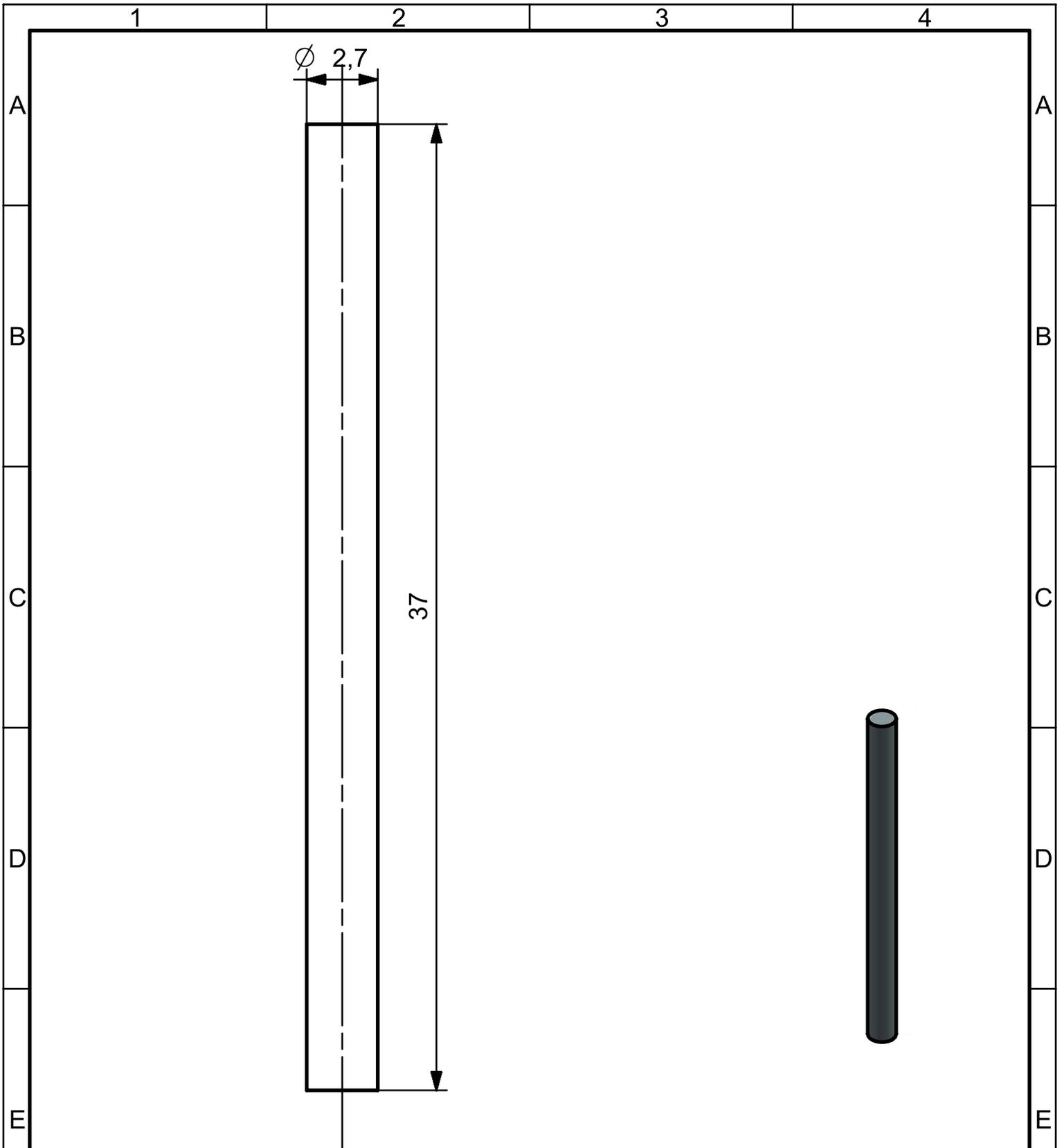
**UNIÓN EJE-APOYO**

**Escala: 2:1**

Lineal:  $\pm 0.1\text{mm}$

Material: PLA

Hoja: 6/8



**Creado por:**

Juan Francisco Rodríguez Franco

Fecha:  
22/06/2020

**Aprobado por:**

Gustavo Manuel Salvador Herranz

Fecha:  
07/07/2020

Unidades en:  
mm

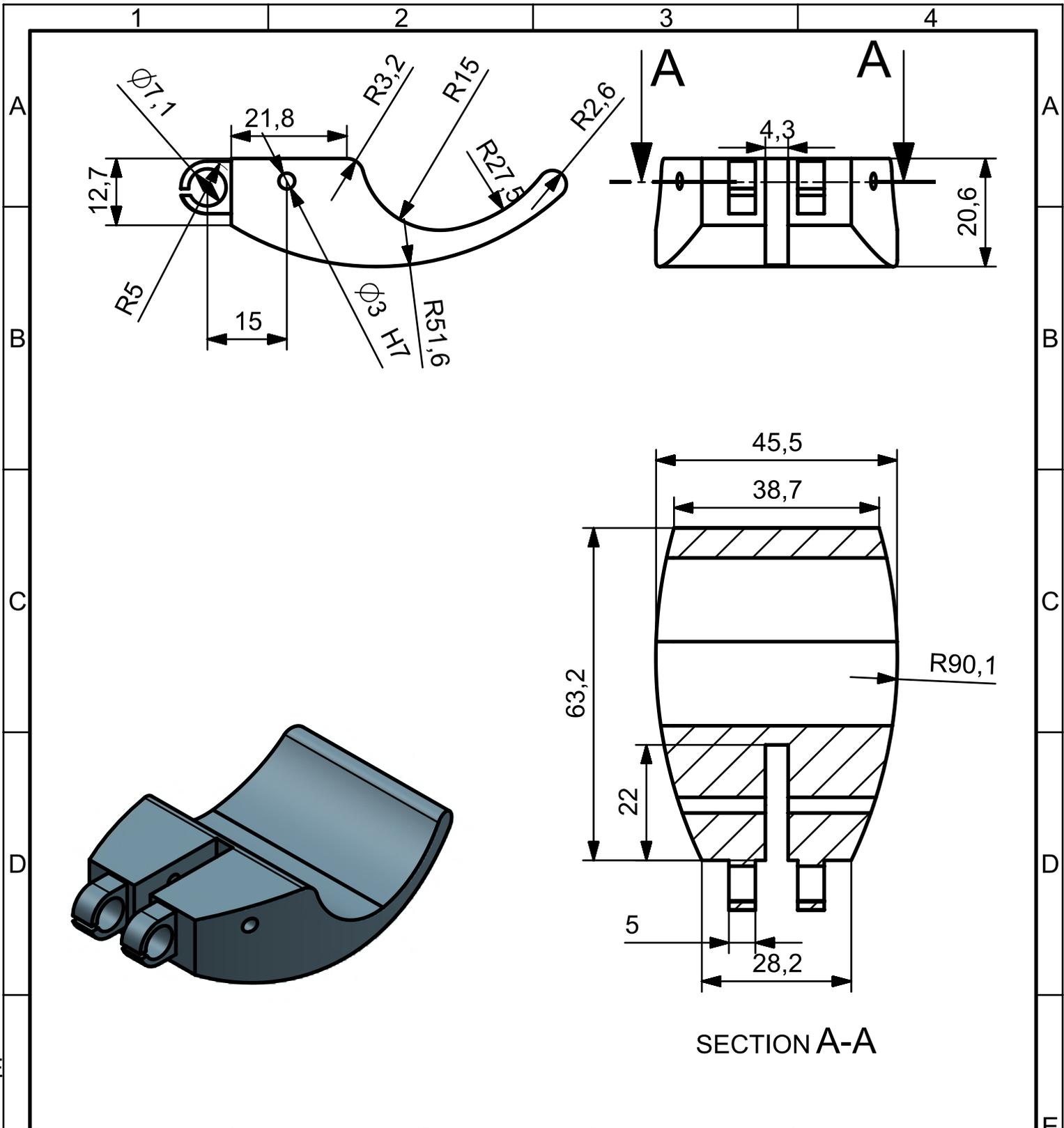
**EJE PATA**

**Escala: 5:1**

Toleraancia  
Lineal:  $\pm 0.1\text{mm}$

Material: PLA

Hoja: 7/8



<b>Creado por:</b>	Juan Francisco Rodríguez Franco	Fecha: 25/06/2020
	<b>Aprobado por:</b>	Gustavo Manuel Salvador Herranz
Unidades en: mm Toleraancia Lineal: $\pm 0,1\text{mm}$	<b>APOYO</b>	
<b>Escala: 1:1</b>	Material: PLA	Hoja: 8/8