



**Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TREBAJO FINAL DE GRADO

**TÍTULO:**

**DISEÑO DE PRÓTESIS CANINA DE EXTREMIDAD TRASERA**

**AUTOR: FRÍAS ZÚÑIGA, GERALD NICOLÁS**

**FECHA DE PRESENTACIÓN: Junio, 2020**

<b>APELLIDO:</b>	FRÍAS ZÚÑIGA	<b>NOMBRE:</b>	GERALD NICOLÁS
<b>TITULACIÓN:</b>	GRADO DE INGENIERIA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL PRODUCTO		
<b>PLAN:</b>	2020		
<b>DIRECTOR:</b>	ALIAU PONS, JOAN JOSEP		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERIA		

**CALIFICACIÓN DEL TFG**

<b><u>TRIBUNAL</u></b>		
<b>PRESIDENTE</b>	<b>SECRETARIA</b>	<b>VOCAL</b>
TREJO OMEÑACA, ALEXANDRE	TORRAS SENDRA, MARIA ALBA	FORTUNY SANROMA, AGUSTIN
<b>FECHA DE LECTURA:</b>	13 de Julio de 2019	

Sí  No

**Este Proyecto tiene en cuenta aspectos medioambientales:**

## RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como propósito diseñar una prótesis para perro que sea capaz de sustituir la extremidad trasera y que se pueda fabricar con una impresora 3D.

En la actualidad, el mercado de prótesis para perro está muy limitada y con precios muy elevados, sin comentar que nadie utiliza impresión 3D. Esto se debe a que no hace mucho, cuando un perro perdía su extremidad, normalmente se sacrificaba o se le dejaba con tres patas, pero poco a poco se está dando visibilidad y una nueva salida a este problema.

En este proyecto, se hará un estudio detallado del mercado para saber dónde posicionar el producto. Después se hará un *briefing* para poner las bases de la prótesis y después se desarrollará haciendo el diseño 3D con todas las justificaciones de formas, materiales y cálculos. Una vez terminado, se harán unos presupuestos donde se explicarán todos los costes y cuanto valdría la prótesis en el mercado.

Debido a la pandemia del COVID-19, algunos apartados del trabajo no se han podido realizar como se imaginaba, pero se ha intentado hacer lo mejor posible con las herramientas de las que se disponía.

### Palabras clave (máximo 10):

Prótesis	Canina	Perro	Diseño
Impresión 3D	Amputación	Extremidad trasera	

## RESUM

Aquest Treball de Fi de Grau té com a propòsit dissenyar una pròtesi per a gos que sigui capaç de substituir l'extremitat darrera i que es pugui fabricar amb una impressora 3D.

Actualment, el mercat de pròtesi per a gos està molt limitat i amb preus molt elevats, sense comentar que ningú utilitza la impressió 3D. Això es deu al fet que no fa molt, quan un gos perdia la seva extremitat, normalment se sacrificava o se li deixava amb tres potes, però, a poc a poc s'està donant visibilitat i una nova sortida a aquest problema.

En aquest projecte, es farà un estudi detallat del mercat per saber on posicionar el producte. Després, es farà un *briefing* per posar les bases de la pròtesi i després es desenvoluparà fent el disseny 3D amb totes les justificacions de formes, materials i càlculs. Un cop acabat, es faran els pressupostos on s'explicaran tots els costos i quant valdria la pròtesi al mercat.

A causa de la pandèmia de la COVID-19, alguns apartats del treball no s'han pogut realitzar com s'imaginava, però s'ha intentat fer el millor possible amb les eines que disposàvem.

### Paraules clau (10 màxim):

Pròtesi	Caní	Gos	Disseny
Impressió 3D	Amputació	Extremitat darrera	

## ABSTRACT

The purpose of this End of Degree Project is to design a dog prosthesis that is capable of replacing the hind limb and that can be manufactured with a 3D printer.

Currently, the dog prosthesis market is very limited and has very high prices, not only that, but also nobody uses 3D printing. This is due to not long ago, when a dog lost its limb, it was usually sacrificed or left with three legs, but little by little visibility and a new way out of this problem is being given.

In this project, a detailed study of the market will be made to know where to position the product. Then a briefing will be made to put the bases of the prosthesis and right after, the 3D design will be created, with all the justifications of forms, materials and calculations. Once it is finished, we will make a budget where we will explain the costs and how much the prosthesis would be worth in the market.

Due to the COVID-19 pandemic there are some sections of the work that could not be done as desired, but we have tried to do the best with the tools that were available.

### Keywords (10 maximum):

Prosthesis	Canine	Dog	Design
3D impression	Amputation	Lower limb	

## SUMARIO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>10</b>
2.1 HISTORIA DE LA PRÓTESIS .....	10
2.1.1 ANTIGUO EGIPTO .....	10
2.1.2 IMPERIO ROMANO .....	10
2.1.3 ALTA EDAD MEDIA .....	11
2.1.4 AÑO 1500 .....	11
2.1.5 SIGLO XVII Y XIX .....	12
2.1.6 TIEMPO CONTEMPORÁNEO .....	12
2.2 ATENTADO DE BOSTON .....	13
2.3 ACTUALIDAD EN PRÓTESIS PARA ANIMALES .....	14
2.4 CRÍTICA AL ESTADO DEL ARTE .....	15
<b>3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA</b>	<b>16</b>
3.1 MAPA IDEAS .....	16
3.1.1 ELECCIÓN DEL ANIMAL AL QUE ESTARÁ ENFOCADA LA PRÓTESIS .....	16
3.1.2 POCA VARIEDAD DE PRODUCTOS EN EL MERCADO .....	18
3.1.3 PROBLEMAS TÉCNICOS CON LA PROPIA PRÓTESIS .....	18
3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: ENTREVISTA .....	19
3.3 CONCLUSIÓN EN LA PROBLEMÁTICA .....	20
<b>4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS</b>	<b>21</b>
4.1 CAUSAS PARA LA AMPUTACIÓN DE EXTREMIDADES EN PERROS .....	21
4.2 ANATOMIA CANINA .....	22
4.2.1 BIOMECÁNICA CANINA .....	23
4.2.2 TAMAÑOS DE LOS PERROS .....	27
4.3 PRÓTESIS .....	28
4.3.1 EXOPRÓTESIS .....	29
4.3.2 ENDOPRÓTESIS .....	29
4.3.3 MATERIALES PARA LAS PRÓTESIS .....	29

4.3.4	PRÓTESIS Y ÓRTESIS .....	30
4.4	ESTUDIO DE MERCADO .....	30
4.4.1	PRÓTESIS DE MIEMBRO POSTERIOR DE ORTOCANIS .....	30
4.4.2	PRÓTESIS DE MIEMBRO POSTERIOR DE ORTOPEDIA CANINA.....	31
4.4.3	BETA IMPLANTS .....	31
4.4.4	PRÓTESIS ECOLÓGICA.....	32
4.4.5	ALTERNATIVAS A LAS PRÓTESIS .....	32
4.4.6	MATRIZ ESTRATÉGICA: LAS 5 FUERZAS DE PORTER .....	34
4.4.7	MATRIZ DE CRECIMIENTO DE PORTER.....	35
4.5	CONCLUSÓN DE ESTUDIOS PREVIOS.....	36
<b>5.</b>	<b>BRIEFING</b>	<b>39</b>
5.1.1	FRASE DE UTILIDAD Y <i>STORYBOARD</i> .....	39
5.1.2	ANÁLISIS DEL USUARIO .....	41
5.1.3	CUADRO FUNCIONAL .....	43
5.1.4	PRECEDENTES.....	44
5.1.5	AGUJEROS Y VENTANAS .....	44
5.1.6	CIENCIA Y TECNOLOGÍA.....	45
5.1.7	ELECCIÓN .....	45
5.1.8	TIPO DE DISEÑO .....	46
<b>6.</b>	<b>DESARROLLO Y PROPUESTA DEL BRIEFING</b>	<b>47</b>
6.1	ESTUDIO DE CONCEPTOS.....	47
6.1.1	PRIMER BOCETO.....	47
6.1.2	SEGUNDO BOCETO .....	48
6.1.3	TERCER BOCETO .....	48
6.2	BOCETO CON EL DISEÑO FINAL.....	49
6.3	PRIMER DISEÑO 3D .....	49
6.4	CORRECCIONES DEL DISEÑO 3D.....	50
6.4.1	SEPARAR COMPONENTES DE LA PATA .....	50
6.4.2	CAMBIO DE DISTANCIAS ENTRE HEMBRAS.....	50

6.4.3	REDISEÑO DEL HUECO PARA PONER LA EXTREMIDAD AMPUTADA .....	51
6.4.4	GUÍAS PARA LA PATA .....	51
6.4.5	CAMBIO DEL SISTEMA DE GUÍA .....	52
6.4.6	CREACIÓN DE OTRA TAPA .....	52
6.4.7	CAMBIAR LA FORMA DEL CALCETÍN .....	53
6.4.8	AJUSTAR LA POSICIÓN DEL CALCETÍN .....	53
6.4.9	MEJORA DE SUJECIÓN .....	53
6.5	ESTUDIO ERGONÓMICO DE LA PRÓTESIS .....	54
6.5.1	JUSTIFICCIÓN DE FORMA.....	55
6.6	DISEÑO FINAL.....	60
6.6.1	CONTEXTUALIZACIÓN .....	61
6.7	ADAPTACIÓN DE LA PRÓTESIS A PARTIR DEL ESCANEADO DE LA EXTREMIDAD AFECTADA .....	62
6.8	DIMENSIONADO DE LA PROPUESTA .....	64
6.8.1	ALTURA DE LA PATA .....	64
6.8.2	DIÁMETRO DE LA CARCASA .....	66
6.8.3	PROFUNDIDAD DE LA ENTRADA DE LA PRÓTESIS .....	66
6.9	DEFINICIÓN DE COMPONENTES .....	67
6.9.1	PARTE INTERNA.....	67
6.9.2	PARTE EXTERNA .....	68
6.9.3	PARTE QUE REALIZA EL MOVIMIENTO.....	69
6.9.4	UNIONES .....	69
6.10	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	72
6.10.1	MATERIAL DE LA PIEZA ESCANEADA EN 3D .....	72
6.10.2	MATERIAL DE LA CARCASA.....	73
6.10.3	MATERIAL DE LA PATA .....	75
6.10.4	MATERIAL DEL CALCETÍN.....	77
6.11	AMFE.....	79
<b>7.</b>	<b>CÁLCULOS</b>	<b>84</b>
7.1	PUESTA EN MARCHA DE LA PATA.....	84



7.2	FUERZAS CON EL PERRO DE PIE .....	86
7.3	FUERZAS CON EL PERRO EN MOVIMIENTO.....	88
<b>8.</b>	<b>PRESUPUESTOS</b>	<b>90</b>
8.1	PRESUPUESTO DE INGENIERÍA .....	90
8.2	TIPOS DE COSTES.....	91
8.2.1	COSTE DE LOS MATERIALES.....	91
8.2.2	COSTES DE MAQUINARIA .....	92
8.2.3	COSTES DE ELECTRICIDAD.....	92
8.3	COSTES DE PERSONAL .....	93
8.4	COSTES DE LA PRODUCCIÓN.....	93
8.5	VENTA AL PÚBLICO.....	95
8.6	PUNTO DE EQUILIBRIO Y RETORNO DE INVERSIÓN .....	95
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>96</b>
	<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>97</b>
	<b>WEBGRAFIA</b>	<b>98</b>

## SUMARIO DE FIGURAS

FIGURA 1: PRIMERA PRÓTESIS FABRICADA.	10
FIGURA 2: PRÓTESIS DEL IMPERO ROMANO.	11
FIGURA 3: PRÓTESIS DE LA EDAD MEDIA.	11
FIGURA 4: PRÓTESIS DEL SIGLO XIX.	12
FIGURA 5: EVOLUCIÓN DE LA PRÓTESIS.	12
FIGURA 6: PRÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN “REVOLUCIONANDO PRÓTESIS”.	13
FIGURA 7: EL TALLER DE ORTHOCARE Y ALGUNO DE SUS TRABAJOS.	14
FIGURA 8: MAPA DE IDEAS.	16
FIGURA 9: WINTER CON SU PRÓTESIS DE ALETA.	17
FIGURA 10: BEAUTY CON SU PRÓTESIS DE PICO.	17
FIGURA 11: SEÑOR STUBBS CON SU PRÓTESIS DE COLA.	18
FIGURA 12: TUMOR EN EXTREMIDAD CANINA.	21
FIGURA 13: ZONAS AFECTAS POR PÉRDIDA DE EXTREMIDAD TRASERA.	22
FIGURA 14: ÁNGULOS DE LA RODILLA CUANDO CORRE Y CUANDO ESTÁ EN POSICIÓN VERTICAL.	24
FIGURA 15: FUERZAS QUE ACTÚAN EN EL PERRO.	24
FIGURA 16: FUERZAS QUE ACTÚAN EN EL PERRO.	25
FIGURA 17: MEDIAS DE UN PERRO PARA GUIAR EN LA TABLA.	28
FIGURA 18: FUNCIONAMIENTO DE PRÓTESIS AL VACÍO.	29
FIGURA 19: PRÓTESIS DE ORTOCANIS.	30
FIGURA 20: PRÓTESIS DE ORTOPEDIACANINA.	31
FIGURA 21: DISEÑO DE IMPLANTE.	31
FIGURA 22: SEÑOR PRÓTESIS A PARTIR DE UN BOTE LIMPIACRISTALES.	32
FIGURA 23: PERRO CON ARNÉS DE SOPORTE.	33
FIGURA 24: PERRO CON SILLA DE RUEDAS.	33
FIGURA 25: ESQUEMA DE LAS 5 FUERZAS DE PORTER.	34
FIGURA 26: MATRIZ DE CRECIMIENTO DE PORTER.	36
FIGURA 27: PERRO CON AMPUTACIÓN DE TAMAÑO MEDIO.	37
FIGURA 28: PERRO DE TAMAÑO GRANDE.	37
FIGURA 29: PERRO POLICÍA.	37
FIGURA 30: FASES DEL BRIEFING.	39
FIGURA 31: <i>STORYBOARD</i> DEL PROBLEMA DE PERDER UNA EXTREMIDAD.	40
FIGURA 33: PRIMER BOCETO CON REPRESENTACIÓN DE PERRO USÁNDOLA.	47
FIGURA 34: SEGUNDO BOCETO CON REPRESENTACIÓN DE PERRO USÁNDOLA.	48
FIGURA 35: TERCER BOCETO CON REPRESENTACIÓN DE PERRO USÁNDOLA.	48
FIGURA 36: BOCETOS DEL DISEÑO FINAL.	49
FIGURA 37: VISTA ISOMÉTRICA DEL DISEÑO 3D JUNTO AL ALZADO, PLANTA Y PERFIL.	49
FIGURA 38: DIFERENCIACIÓN DE COMPONENTES.	50
FIGURA 39: DIFERENCIACIÓN DE COMPONENTES.	50
FIGURA 40: MEJORA EN LA EXTRUSIÓN DE LA CARCASA.	51
FIGURA 41: CARCASA CON GUÍA PARA LA PATA.	51

<b>FIGURA 42: REDISEÑO DE LAS GUÍAS.</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 43: CREACIÓN DE TAPA INFERIOR.</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 44: MEJOR DEL DISEÑO DEL CALCETÍN.</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 45: ÁNGULO DEL CALCETÍN EN CONTACTO CON EL SUELO.</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 46: SUJECIONES DE LA CORREA.</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 47: SUJECIÓN AÑADIDA.</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 48: PRIMER BOCETO DE LA FORMA DE LA PRÓTESIS.</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 49: PROPORCIONES DE LA PATA DE PERRO.</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 50: PROPORCIONES DE LA PRÓTESIS.</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 51: VARIACIONES DE ÁNGULOS SEGÚN LA POSICIÓN DE LA CARCASA.</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 52: MODIFICACIÓN DE ÁNGULOS.</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 53: MODIFICACIÓN DE LA CARCASA.</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 54: REPRESENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN.</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 55: VISTAS DEL DISEÑO FINAL.</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 56: COMBINACIONES DE COLORES.</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 57: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PRÓTESIS CON PERROS DE TAMAÑO DIFERENTE Y COLOR DE PELO DIFERENTES.</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 58: ESCÀNER SCANTECH.</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 59: ESCÀNER 3DS SENSE.</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 60: IMPRESORA ORIGINAL PRUSA I3 MK3S.</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 61: MODELO DE PATA CON ALTURA Y ANCHO.</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 62: MODELO DE CARCASA CON RADIO Y ANCHO.</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 63: MODELO DE CARCASA CON PROFUNDIDAD.</b>	<b>67</b>
<b>FIGURA 64: MODELO DEL ESCANEADO 3D CON UN CORTE PARA VER EL INTERIOR.</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 65: CONJUNTO DE PIEZAS DE LA CARCASA.</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 66: CONJUNTO DE PIEZAS DE LA PARA.</b>	<b>69</b>
<b>FIGURA 67: ROLLO DE FILAMENTOS FLEX X-920 SAKATA 3D.</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 68: GRAFICO QUE TIENE EN CUENTA EL PRECIO DEL MATERIAL Y LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 69: EJEMPLO DE PIEZA IMPRIMIDA CON TERMOPLÁSTICO DE ACRILONITRILO (ABS).</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 70: FILAMENTO ABS DE LA MARCA GEMBIRD.</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 71: EJEMPLO DE PIEZA IMPRIMIDA CON TERMOPLÁSTICO DE ACRILONITRILO (ABS).</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 72: ROLLO DE FILAMENTOS FIBERLOGY NYLON PA12+CF15.</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 73: EJEMPLO DE CAUCHO NITRILO (NBR) EN LÁMINA.</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 74: ADHESIVO GENÉRICO BIOCOPONENTE EPOXI ARALDITE STANDARD 12+12 ML.</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 75: DISEÑO DE LA PATA PARA NX 10.</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 76: MALLADO DE LA PATA.</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 77: RESTRICCIÓN DE LA PATA.</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 78: FUERZAS QUE ACTÚAN EN LA PATA.</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 79: RESULTADOS EN DESPLAZAMIENTO DE LA PATA.</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 80: RESULTADOS EN ESFUERZO DE LA PATA.</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 81: RESULTADOS EN DESPLAZAMIENTO DE LA PATA.</b>	<b>88</b>
<b>FIGURA 82: RESULTADOS EN ESFUERZO DE LA PATA.</b>	<b>89</b>

## SUMARIO DE TABLAS

TABLA 1: FUERZAS QUE EJERCEN LOS PERROS (1).	25
TABLA 2: FUERZAS QUE EJERCEN LOS PERROS (2).	26
TABLA 3: MASAS DE UN SEGMENTO RESPECTO A LA MASA TOTAL.	26
TABLA 4: MASAS, DENSIDADES Y VOLÚMENES.	27
TABLA 5: MEDIAS Y PESOS DE TODA LA VARIEDAD DE PERROS.	27
TABLA 6: SEPARACIÓN DE SUJETO, VERBO Y PREDICADO PARA CREAR FRASE DE UTILIDAD.	39
TABLA 7: TODAS LAS PERSONAS QUE PARTICIPAN EN EL PRODUCTO UNA VEZ FABRICADO.	41
TABLA 8: CARACTERÍSTICAS QUE PUEDE TENER UN PERRO, CONTEXTO Y LUGAR DE UTILIZACIÓN DE PRÓTESIS Y LA SECUENCIA DE OPERACIONES DE UNA PRÓTESIS.	42
TABLA 9: FUNCIONES PRINCIPAL, DERIVADAS Y COMPLEMENTARIAS QUE PUEDE TENER UNA PRÓTESIS.	43
TABLA 10: DIMENSIONES QUE PUEDE TENER EL PRODUCTO.	64
TABLA 11: TAMAÑOS DE LA PATA DEL PERRO (LONGITUD Y ANCHO).	65
TABLA 12: MEDIDAS DEL TORNILLO GUÍA.	70
TABLA 13: MEDIDAS DE LA TUERCA.	70
TABLA 14: MEDIDAS DE LA ARANDELA.	71
TABLA 15: MEDIDAS DE LA ARANDELA.	71
TABLA 16: PROPIEDADES DEL TERMOPLÁSTICO DE ACRILONITRILLO (ABS).	74
TABLA 17: PROPIEDADES DE LA FIBRA DE CARBONO.	75
TABLA 18: PROPIEDADES DEL NYLON.	76
TABLA 19: PROPIEDADES DEL FIBERLOGY NYLON.	77
TABLA 20: AMFE DEL CONJUNTO (1).	80
TABLA 21: AMFE DEL CONJUNTO (2).	81
TABLA 22: AMFE DEL DESPIECE (1).	82
TABLA 23: AMFE DEL DESPIECE (2).	83
TABLA 24: COSTES DE INGENIERÍA.	90
TABLA 25: COSTES DE PIEZAS Y MATERIALES NORMALIZADOS.	91
TABLA 26: COSTES DE LOS FILAMENTOS PARA LA IMPRESIÓN 3D.	91
TABLA 27: COSTE DE LA IMPRESORA 3D Y EL ESCÁNER.	92
TABLA 28: COSTES DE ELECTRICIDAD.	92
TABLA 29: COSTES DE ELECTRICIDAD DE CADA PIEZA.	93
TABLA 30: SUMA DE HORAS DEL OPERARIO.	93
TABLA 31: COSTES PARA PRODUCIR LA CARCASA, ADAPTADOR Y LA PATA.	94
TABLA 32. COSTES PARA PRODUCIR UNA PRÓTESIS.	94
TABLA 33. CÁLCULOS DE PUNTO DE EQUILIBRIO.	95

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, vivimos en una sociedad que es más consciente de que puede hacer un cambio para mejorar el mundo. Cada vez hay más seguridad, más tecnología y menos conflictos. Esta evolución también se ha trasladado al mundo animal, donde más gente es consciente de lo importantes que son para nosotros y nuestro mundo en general. Poco a poco, hay más protectoras, espacios protegidos y las leyes son más duras contra el maltrato animal.

Uno de los animales que más ha querido la sociedad, y a la vez ha sido el más maltratado, ha sido el perro. Por desgracia, miles de perros son sacrificados en perreras al ser abandonados por sus familias. Los motivos que llevan al abandono suelen ser mal comportamiento, cambio de domicilio, fin de temporada de caza o que el perro haya sufrido una lesión que le provoque una discapacidad y que, por culpa de los cuidados que requieren, los dueños no puedan afrontar el esfuerzo económico.

Para contextualizar y entender mejor el proceso y los objetivos que nos hemos marcado en el estudio, nos hemos puesto en la piel de aquellos que sufren por la pérdida de una extremidad en su perro. Ya sea debido a un accidente o por una enfermedad deteriorativa.

Por eso, en el siguiente Trabajo de Fin de Grado, el objeto de estudio han sido las prótesis caninas con tal de llegar al producto final que es el diseño de una prótesis que se pueda imprimir en una impresora 3D.

El proyecto se basará en estudiar la historia de la prótesis hasta la actualidad, desde las enfocadas a personas humanas hasta las que son para animales. Después, se examinará el mercado actual de prótesis caninas con tal de tener una idea breve del estado actual de éstas. A continuación, investigaremos el movimiento del perro para adaptar nuestro diseño con mayor precisión, y finalmente, se culminará el trabajo con el diseño y la creación de una prótesis capaz de ser imprimida en 3D.

Como se quiere que este producto llegue al mayor número de animales posible, es lógico pensar que el perro es el animal al que más se le puede ayudar. Y como no se dispone de las herramientas para corregir el comportamiento de las personas, la mejor opción será reducir costes en los cuidados cuando un perro sufre alguna discapacidad. Una de las discapacidades más frecuente en los perros es el daño o pérdida de extremidad. Por ello, sería una buena solución investigar el tema de las prótesis.

## 1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es realizar el diseño de una prótesis para un animal, específicamente para perros, pero también que pueda ser usada por otros animales cuadrúpedos como podrían ser el gato o la oveja. Esta prótesis ha de ser principalmente funcional, adaptable para el animal, fácil de poner y de limpiar. Más adelante, iremos añadiendo objetivos en medida de lo posible.

Para poder realizar todos estos objetivos es necesario el desarrollo y cumplimiento de una serie de requisitos específicos que son:

- Tener conocimientos básicos de la historia de la prótesis en personas y su evolución.
- Investigar el mercado sobre las prótesis en animales cuadrúpedos, sobre todo el canino. También algunas alternativas como la ortesis para saber si nos pueden aportar riqueza a nuestro diseño.
- Estudiar el movimiento que tiene el perro y las actividades que realiza en su día a día.
- Crear bocetos y diseños 3D junto a sus materiales y cálculos.
- Realizar análisis de resultados.
- Aspirar a la impresión 3D del diseño.
- Solucionar el problema que desarrollan los perros cuando pierden una extremidad.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Primeramente, haremos un repaso de la situación actual de la tecnología en el campo protésico. No se hablará exactamente del estado existente de la tecnología con la que se desarrollará el trabajo, sino de qué otras aplicaciones existen actualmente o han existido en el mercado, pasando por la historia de la evolución tecnológica de la prótesis, y si se han realizado funcionalidades iguales o parecidas a las que se propone diseñar en este TFG.

En este punto, describiremos simplemente lo que hay. Al final de este punto se hará alguna pequeña valoración que muestre los puntos fuertes de la tecnología y su utilidad en animales.

### 2.1 HISTORIA DE LA PRÓTESIS

Antes de querer diseñar prótesis para animales es necesario revisar la historia de la prótesis en personas, ya que es el campo donde más se ha avanzado en este tipo de dispositivos, y podemos sacar más ideas de los materiales o mecanismos que utilizan y de su por qué.

#### 2.1.1 ANTIGUO EGIPTO

La primera prótesis registrada data del año 1500 a.C., en la época de los antiguos egipcios. Eran prótesis rudimentarias con fibra, y se cree que las utilizaban por la sensación de sentirse completos antes que por la función en sí. No obstante, se cree que también buscaban algo de funcionalidad gracias al hallazgo de dos momias egipcias con un dedo protésico cada una encontrados en 950 a.C. y el 750 a.C.



Figura 1: Primera prótesis fabricada.  
Fuente: [www.tratamientoyenfermedades.com](http://www.tratamientoyenfermedades.com)

#### 2.1.2 IMPERIO ROMANO

En Italia, más concretamente en Capua, fue descubierta una pierna protésica que data del 300 a.C. Estaba fabricada con hierro y bronce, y su interior era de madera. Se supone que la amputación había sido por debajo de la rodilla.



Figura 2: prótesis del impero romano.  
Fuente: [www.ancient-origins.es](http://www.ancient-origins.es)

También se tiene constancia de otra prótesis en la época. El romano Plinio el Viejo escribió sobre un general romano al que le amputaron la mano y se colocó una de hierro con la que sostenía el escudo, gracias a la cual pudo volver a la batalla.

### 2.1.3 ALTA EDAD MEDIA

La mayoría de las prótesis creadas en esa época eran utilizadas para esconder heridas o deformidades producidas en el campo de batalla, y no se tenía en cuenta la funcionalidad.

También se creó el gancho de mano y la pata de palo donde sí que se tenía en cuenta para las funciones diarias, pero solo se lo podían permitir los más ricos.



Figura 3: Prótesis de la edad media.  
Fuente: [www.protesismg.com](http://www.protesismg.com)

### 2.1.4 AÑO 1500

En 1508, se crearon un par de manos de hierro para el mercenario alemán Gotz von Berlichingen después de que 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.



## 2.1.5 SIGLO XVII Y XIX

En 1800 el londinense James Potts diseñó la famosa “Pierna de Anglesey”. Se trataba de una prótesis hecha de madera con encaje, una articulación de rodilla de acero y un pie articulado controlado por tendones de cuerda de tripa de gato desde la rodilla hasta el tobillo.



Figura 4: Prótesis del siglo XIX.  
Fuente: [elavancedelasprotesis.wordpress.com](http://elavancedelasprotesis.wordpress.com)

En 1863, Dubois Parmlee diseñó una prótesis avanzada con un encaje de succión, rodilla policéntrica y un pie multiarticulado. Gustav Hermann, en 1868, sugirió añadir aluminio para sustituir el acero y que así la prótesis fuese más ligera. Pero no fue hasta el 1912, cuando Marcel Desoutter creó la primera prótesis de aluminio con la ayuda de su hermano.

## 2.1.6 TIEMPO CONTEMPORÁNEO

La gran evolución de la tecnología en estos últimos cien años ha sido gracias a las últimas guerras y ha afectado en gran medida a las prótesis. Hoy en día las prótesis son mucho más ligeras gracias al plástico, aluminio y materiales compuestos que han resultado muchas necesidades. A parte de los materiales nuevos empleados para las prótesis, también se han añadido circuitos informáticos, microprocesadores y robótica. Éstos han logrado en gran medida que los pacientes recuperen las funciones que harían en su día a día. Hoy en día las prótesis son más realistas y cumplen con mayor eficacia sus funciones.



Figura 5: Evolución de la prótesis.  
Fuente: [www.pinterest.es](http://www.pinterest.es)

## 2.2 ATENTADO DE BOSTON

Un ejemplo de este avance en tecnología lo podemos observar en el atentado del maratón de Boston, donde las víctimas tuvieron una segunda oportunidad gracias a las prótesis de extremidades.

El ataque terrorista hirió a más de 170 personas y varias sufrieron amputaciones de extremidades en operaciones de emergencia. Perder una extremidad puede ser una experiencia realmente traumática pero algunos doctores de la zona de Chicago dicen que las consecuencias de la amputación han mejorado mucho en las últimas décadas contando con grandes avances en la tecnología de las prótesis.

Chicago es donde se lleva a cabo la investigación más puntera en prótesis y esto está cambiando la perspectiva de algunos afectados. El instituto de Rehabilitación de Chicago está involucrado en el desarrollo de extremidades controladas mentalmente, que ya se encuentran en el mercado.

Y Sliman Bensmaia, neurocientífico en la Universidad de Chicago y parte del proyecto de investigación nacional llamado "Revolucionando Prótesis", está ayudando a desarrollar prótesis que puedan estimularse transmitiendo mensajes de vuelta al cerebro. Eso se llama *feedback* sensorial, las funciones de las extremidades superiores son particularmente dependientes de ese *feedback*.



Figura 6: Prótesis de la investigación "Revolucionando prótesis".  
Fuente: [www.wbez.org](http://www.wbez.org)

"Sin ello todo lo que hiciéramos sería extremadamente forzoso, patoso y lento", dijo Bismaia. Este tipo de prótesis permitirían controlar la agarrada más detalladamente. Y hay más beneficios en esas prótesis como que sienten que es parte de ellos. Es decir, los pacientes se sienten conectados sensorialmente a las prótesis.

Pero hay más sobre la amputación que solo llegar a alcanzar la tecnología adecuada en el mercado. Para víctimas como las de Boston, acostumbrarse a una prótesis puede llevar meses de terapia física y emocional. Además, tenemos el coste de estas prótesis, la mayoría no incluidas en los seguros médicos.

"Los seguros médicos privados son los mejores" dijo King. Los veteranos tienen las mejores tecnologías en sus seguros médicos.

Aún hasta las prótesis más básicas son más ligeras y fáciles de usar que hace un par de décadas, y King dice que sus pacientes suelen sorprenderse con los resultados después de unos meses de terapias.

El número total de amputados en los Estados Unidos está estimado en 1,7 millones, la mayoría resultado de enfermedades como la diabetes.

Esto demuestra que ante un terrible suceso como fue el atentado de Boston, la tecnología ha podido evolucionar hasta tal punto de mejorar las vidas de los afectados. Prótesis para deportistas

## 2.3 ACTUALIDAD EN PRÓTESIS PARA ANIMALES

Actualmente, el mercado y el avance en prótesis para animales está muy limitado, ya que los "dueños" preferían que el animal tuviera 3 patas o sacrificarlo, en vez de intentar solucionar el problema con una prótesis. Pero a medida que se han dado a conocer nuevas organizaciones y casos de animales que han podido seguir haciendo su día a día gracias a estas prótesis, ha habido más interés por querer darle a sus animales una segunda oportunidad.

Una de estas organizaciones se llama *Animal OrthoCare*. Fundada por el médico estadounidense Derrick Campana, que lleva varios años trabajando para mejorar la vida de animales con minusvalías. Su organización se dedica a ayudar a fundaciones sin ánimo de lucro que no pueden financiar este tipo de tratamientos a sus pacientes, ya que son casos muy raros. A parte de prótesis, Derrick y su equipo se encargan de hacer férulas y otro tipo de aparatos veterinarios para mejorar los problemas físicos en los animales. El lugar donde diseñan y crean las prótesis y otros artilugios para animales es en el taller de Derrick y su lista de pacientes pasa por gatos, perros, cabras, burros y hasta un elefante.



Figura7: El taller de *OrthoCare* y alguno de sus trabajos.  
Fuente: [www.muyinteresante.es](http://www.muyinteresante.es)

## **2.4 CRÍTICA AL ESTADO DEL ARTE**

Una vez repasada por encima la historia de las prótesis en personas, hay que reconocer que tecnológicamente ha habido una mejora notable desde la popular pata de palo a prótesis que se pueden estimular con el cerebro. No obstante, es bastante desalentador que el desarrollo de la tecnología en este aspecto haya sido por causa de la guerra como la Primera y Segunda Guerra Mundial, o atentados como el de Boston, mencionados anteriormente.

Por lo que respecta a las prótesis en animales, su evolución de una prótesis específica para ellos ha sido escasa o nula, al contrario que las personas. Esto se debe evidentemente a la falta de empatía que actualmente existe con los animales, ya que no hace mucho e incluso hoy en día se sacrifican animales que presentan cualquier imperfección física por el simple hecho de que necesitan unos cuidados más intensivos.

### 3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El análisis del problema es la búsqueda de causas que lo originan con el fin de encontrarlas y determinar alternativas para solucionarlo. En este caso, empezaremos con un mapa de ideas, donde diferenciaremos los problemas básicos, después los desarrollaremos uno a uno. Se ha pretendido complementar con una entrevista a un profesional en el sector para encontrar posibles problemas que hayamos pasado por alto. Por último, una conclusión donde priorizaremos los problemas más importantes y sus posibles soluciones.

#### 3.1 MAPA IDEAS

La intención de hacer un mapa de ideas es la de organizar conceptos que queremos implementar en nuestro trabajo. A lo largo de él nos enfocaremos en cada concepto y si se pueden implementar en nuestro trabajo con éxito o no, y por qué.

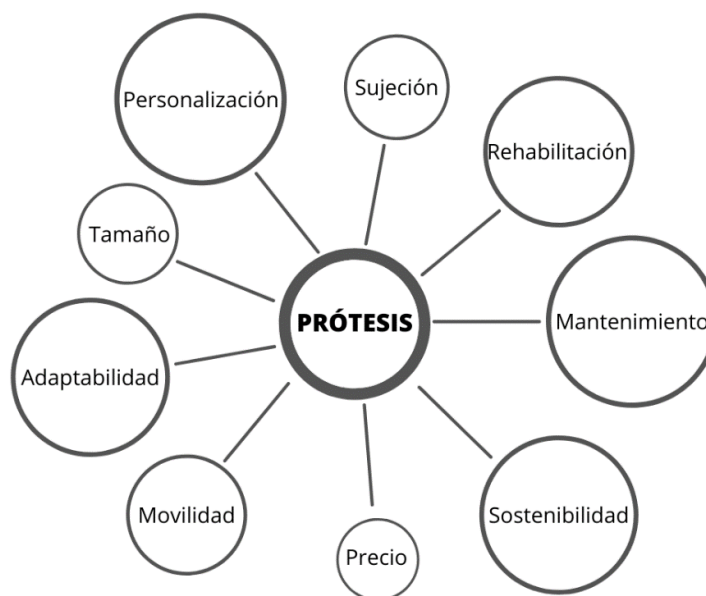


Figura 8: Mapa de ideas.  
Fuente: Elaboración propia

A continuación, a partir de los conceptos que se han añadido, se hará un pequeño análisis de los problemas que podemos encontrarnos a primera vista, aunque a medida que se desarrolle el trabajo se dará una solución completa.

#### 3.1.1 ELECCIÓN DEL ANIMAL AL QUE ESTARÁ ENFOCADA LA PRÓTESIS

Como hemos visto en el estado del arte, los casos más frecuentes en amputación o problemas con las extremidades en la organización de 'Animal OrthoCare' es en perros y gatos. Estos resultados tienen sentido, ya que los dos animales son los que más se relacionan con las personas y pueden sufrir muchos accidentes por diferentes situaciones.

## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Sin embargo, no hay que menospreciar al resto de animales o pensar que no necesitan ayudar para subsistir. Por ellos se hará una pequeña búsqueda de animales de otras especies que han necesitados algún tipo de prótesis.

- Ejemplo 1. La delfín *Winter*.

Una delfín recogida en América del Norte con heridas en la aleta trasera, la cual acabó perdiendo poco después. Al poco tiempo crearon una aleta artificial para ella, siendo la primera en todo el mundo. Se rodó una película para concienciar y demostrar la capacidad de superación de *Winter* y gracias al éxito se pudo rodar una secuela y crear más prótesis como la suya.

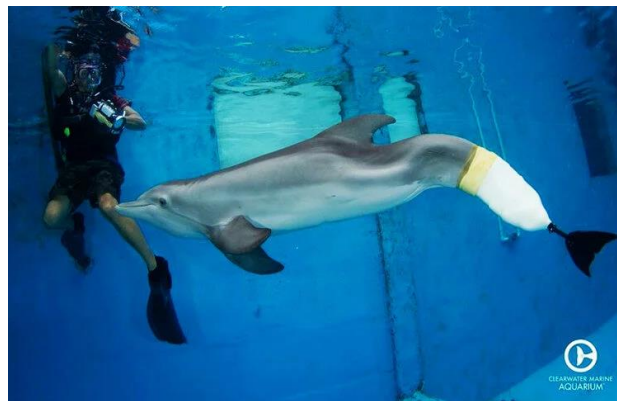


Figura 9: *Winter* con su prótesis de aleta.  
Fuente: [www.misanimales.com](http://www.misanimales.com)

- Ejemplo 2. El águila calva *Beauty*.

Por culpa de un disparo de un cazador, esta águila calva, perdió prácticamente todo el pico. Este suceso le impedía alimentarse y limpiarse. Con la colaboración de una empresa se consiguió deconstruir un pico para *Beauty*, con lo que ha recuperado su vida normal. Con este tipo de prótesis se descubrió una alternativa para las aves con problemas en los picos.



Figura 10: *Beauty* con su prótesis de pico.  
Fuente: [www.misanimales.com](http://www.misanimales.com)

- Ejemplo 3. El cocodrilo Señor Stubbs.

Es un cocodrilo que perdió su cola en una pelea. Años después fue encontrada con la herida ya cicatrizada, pero con secuelas que le impedían sumergirse para cazar como el resto de los cocodrilos. Se le diseñó una prótesis adaptada con la que tuvo que aprender a nadar de nuevo, pero mejoró considerablemente su situación.



Figura 11: Señor Stubbs con su prótesis de cola.  
Fuente: [www.misanimales.com](http://www.misanimales.com)

### 3.1.2 POCA VARIEDAD DE PRODUCTOS EN EL MERCADO

Ya hemos mencionado esto anteriormente, pero es importante tener en cuenta que un problema importante es la falta de mercado que hay, que más adelante también comentaremos al hacer el análisis de este. Esto dificulta la regulación de los precios y de las normativas, ya que en 2014 el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente hizo público el Borrador del Anteproyecto de Ley por el que se establece la normativa básica del comercio y tenencia responsable de perro y gatos, pero en él no había nada estipulado en lo que se refiere a las prótesis. Esto, dependiendo del punto de vista, puede ser una ventaja, porque no tenemos ninguna restricción a la hora de diseñar nuestra prótesis, pero a la vez no tenemos ninguna guía a seguir.

### 3.1.3 PROBLEMAS TÉCNICOS CON LA PROPIA PRÓTESIS

- Ajustar el tamaño de la prótesis al animal.

El problema que encontramos es la gran variedad que pueden tener los animales cuadrúpedos, donde podemos pasar de un ratón a un elefante. Esto dificulta el desarrollo del producto, ya que no podemos hacer un solo modelo con tamaños tan variados. Esto haría que para algunos animales nuestro producto pierda sus funciones o no sea tan eficaz.

- Adaptación de la prótesis al animal.

Los animales no están acostumbrados a llevar añadidos en su cuerpo y esto dificulta que se adapten a la prótesis. Tenemos constancia que hay algunos animales como los perros, caballos, burros y, a veces, gatos que toleran que les pongamos correas o dispositivos parecidos. Por ello, debemos tener en consideración que el animal pueda estar lo más cómodo posible con su extensión.

- Fijación de la prótesis a la extremidad amputada.

Seguido con el punto anterior, aparte de tener en cuenta que el animal acepte y se adapte a la prótesis, debemos asegurarnos de que no le moleste o no cumpla bien sus funciones cuando el animal la esté utilizando. Esto se puede deber al tipo de actividades que este pueda realizar y por ello nuestra prótesis debe ir bien fijada y aguantar el estilo de vida que pueda llevar.

- La superficie de la prótesis en contacto con el terreno.

Tenemos que tener en cuenta todos los entornos donde nuestra mascota puede estar y como afectara a la prótesis. Porque aparte del asfalto o la tierra, que son terrenos normales, también debemos tener otros terrenos como podría ser el barro, la nieve o la arena y como actuará la prótesis. Ya que, si la superficie de contacto no es suficientemente amplia o la forma no es la correcta, esta se podría hundir en el terreno y dificultar el desplazamiento al animal.

### **3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: ENTREVISTA**

Para el método de investigación, la mejor opción que se ha planteado ha sido la entrevista. Esto se debe a la situación que estamos viviendo actualmente y a la falta de animales con discapacidad en las extremidades que conozco.

Por un lado, no puedo realizar una encuesta, ya que podría herir la sensibilidad o molestar con algunas preguntas que tenga que hacer. Esto se debe a que es un tema complicado y no todo el mundo lo ve de la misma manera. También porque a la gran mayoría que le llegue la encuesta no tendrá mascotas con el problema que queremos resolver o simplemente no tendrán mascotas.

Tampoco podemos hacer un estudio etnográfico, por el desconocimiento de algún caso que sea cercano y, a parte, la prohibición de salir de casa por la cuarentena. Por estas razones y el poco tiempo que nos quedará cuando podamos desplazarnos, esta opción se ha visto descartada.

Después de barajar más opciones para obtener información, hemos llegado a la conclusión que una entrevista individual a un veterinario especializado en cirugías es la mejor alternativa. Esta entrevista será estructurada y de seguimiento formada por cinco partes:

- Para comenzar preguntaremos como es la rehabilitación de la mascota después de la operación.
- Comenzaremos a indagar en lo que me interesa.



Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

- Pregunto sobre características específicas.
- La experiencia del entrevistado.
- Para concluir alguna anécdota relacionada con el tema.

La entrevista estará focalizada en todo momento en el proyecto y será superficial, es decir, que busca valores objetivos útiles para la investigación y no requiere una relación consolidada entre entrevistador y entrevistado.

En principio, la intención a la hora de realizarla es que sea en persona, pero si vemos que no es posible, también tenemos la posibilidad de hacerla por videollamada.

### **3.3 CONCLUSIÓN EN LA PROBLEMÁTICA**

Al crear el mapa de ideas para encontrar conceptos en los que trabajar han surgido una serie de problemáticas que no se tenían en cuenta antes de empezar el trabajo. Mientras más se profundiza en el proyecto, más dificultades se van encontrando en el camino.

Desgraciadamente, a causa de la pandemia del Covid-19 no se ha podido realizar la entrevista a ningún profesional en el tema de amputaciones. Se ha intentado contactar con centros veterinarios, pero no nos han dado respuesta.

Por ello, se seguirá trabajando y desarrollando el proyecto a partir de los conocimientos propios y de información encontrada en internet o gente cercana.

## 4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS

Una vez llegada a la conclusión de que se va a diseñar una prótesis para perros se hará una investigación de los motivos por los que un perro puede perder su extremidad, un estudio de la anatomía y la mecánica del perro para saber en qué le afecta perder una extremidad trasera, ángulos de las patas traseras, que fuerzas actúan y los diferentes tamaños de perro, entre otras características.

Se hará una investigación también a los tipos de prótesis que existen en personas, ya que son las más avanzadas. Se nombrarán los tipos que existen, sus características y materiales.

Después de tener claro el funcionamiento, se realizará un análisis de mercado centrado en los perros. Es de esperar que no haya mucha variedad de productos, así que se indagará en otras propuestas para la ausencia de extremidad.

### 4.1 CAUSAS PARA LA AMPUTACIÓN DE EXTREMIDADES EN PERROS

Muchos perros sufren una amputación de su extremidad, pero pueden llegar a vivir una vida normal a pesar de la cirugía. La amputación de la extremidad requiere una recuperación de aproximadamente 2 semanas antes de que un perro se acostumbre a la pérdida del miembro, sea la causa que sea, dependiendo de la edad del animal.

Los motivos más comunes para la pérdida de una extremidad suelen ser dos:

- Cuando el perro sufre un accidente donde el miembro dañado no tiene posibilidad de recuperación, como cuando los huesos se trituran o los nervios están dañados. Las causas de estos accidentes suelen ser por múltiples razones como un atropello, una caída, maltratos...
- Enfermedad grave, como un tumor. La causa de este suele ser cáncer de huesos (osteosarcoma), que puede ser agresivo y extenderse por todo el cuerpo.



Figura 12: Tumor en extremidad canina.  
Fuente: <http://www.uco.es/>

- Necrosis Isquémica, que causa oclusión vascular irreparable.
- *Osteomielitis crónica es una inflamación de hueso y médula ósea causada por bacterias que forman pus, microbacterias u hongos (cochrane.org).*

## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera Gerald Nicolás Frías Zúñiga

- *Parálisis o lesiones neurológicas de magnitud, tales como avulsión del plexo branquial o contractura del cuádriceps* (José Andrés Fernández Sarmiento, 2003/2004).
- *Malformaciones congénitas del miembro implican extremidades faltantes, incompletas, supernumerarias, o anormalmente desarrolladas presentes en el nacimiento* (msdmanuals.com).

Cuando los perros amputados utilizan sólo tres patas, sufren problemas en la columna vertebral y en la extremidad contralateral a la amputada, cosa que tarde o temprano acaba pasando factura, muchas veces una prótesis puede aliviar estos problemas y evitar que aparezcan problemas mayores en el futuro.

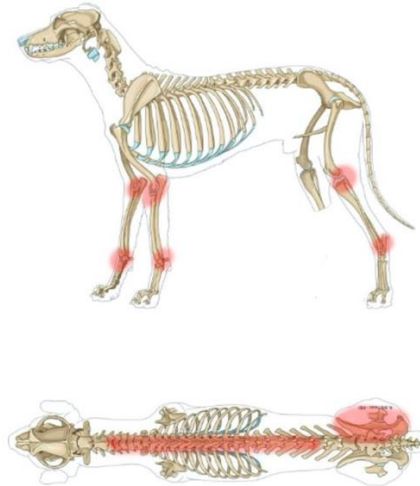
### **4.2 ANATOMIA CANINA**

A continuación, haremos un análisis de la fisiología canina para saber dónde iría la prótesis y las zonas que afectaría.

Haciendo el análisis de mercado hemos estado leyendo que la prótesis no siempre es una buena opción, ya que el cuerpo se acostumbra a andar a tres patas y no le afecta al resto del cuerpo. Solo hace falta un poco de tiempo para la recuperación y que una vez finalizada esta recuperación no tendrán ningún problema para correr o saltar con tres patas.

Por una parte, esta afirmación no es falsa. Un perro se puede recuperar de una amputación relativamente rápido, dependiendo de la edad, raza o peso. Pero a la larga, pueden desarrollar problemas en los músculos y articulaciones. Cuando un canino pierde una extremidad, ellos mismo redistribuyen el peso del cuerpo en las extremidades restantes y adoptan la posición más cómoda que les sea posible. Por ello, los huesos y músculos cambian a una posición que no es la natural y pueden sufrir desgastes. Todo esto sin hablar de la columna, que es la más afectada en este cambio. Esto se traduce en artritis u otros problemas articulares.

Figura 13: Zonas afectas por pérdida de extremidad trasera.  
Fuente: Editado de [www.imaios.com](http://www.imaios.com)



Por consiguiente, la creación de una prótesis es necesaria para poder evitar todos estos problemas a la larga.

Para la creación de esta, debemos tener en cuenta la forma de la pierna del perro y el movimiento que realiza al andar.

#### 4.2.1 BIOMECÁNICA CANINA

La biomecánica se define como ciencia y tecnología de los movimientos que puede realizar un animal (en nuestro caso un perro) para armonizar sus restricciones anatómicas. Debido a su composición, los huesos antes de romperse experimentan una deformación elástica y plástica. La resistencia, rigidez y absorción de energía del hueso dependen de sus propiedades materiales, aspectos estructurales y factores mecánicos.

Si queremos diseñar una prótesis adecuada a las necesidades del animal, debemos conocer los tipos de fuerzas que operan sobre los huesos. Teóricamente, 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.

En este proyecto nos centraremos en la articulación de la rodilla, ya que es una zona de gran movilidad y actúan movimientos de flexión y extensión, angulación hacia dentro, angulación hacia fuera, movimiento anteroposterior y rotación axial. Estos movimientos o grados de libertad están controlados mediante la restricción primaria y secundaria.

*Con la flexión y la extensión de la articulación de la rodilla, hay un movimiento de rodamiento y deslizamiento de los cóndilos femorales en relación con la meseta tibial. Al contrario, cuando la articulación está en extensión, hay un movimiento anterior de los cóndilos femorales con relación a la meseta tibia. (Piermattei,2009).*

*La mayoría de los perros en posición vertical tienen un ángulo normal en la rodilla de 130° a 140° grados. El límite normal del movimiento es de 110°, desde los 40° de flexión hasta los 150° en plena extensión (Piermattei.,2009; König y Liebich, 2011).*

## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera Gerald Nicolás Frías Zúñiga

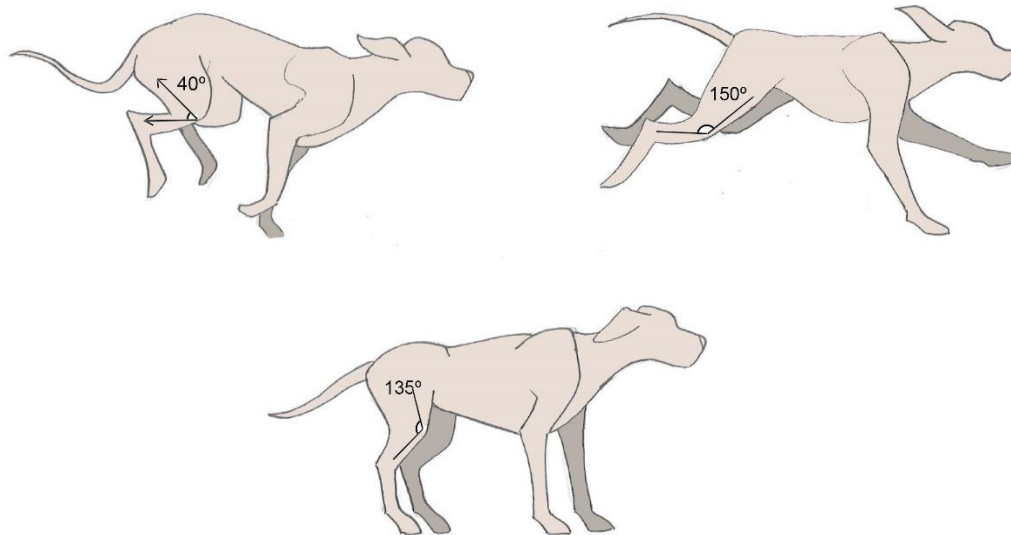


Figura 14: Ángulos de la rodilla cuando corre y cuando está en posición vertical.  
Fuente: Elaboración propia.

Estos son los ángulos que nuestra prótesis tendrá que recrear o al menos acercarse para que el perro pueda adaptarse lo mejor posible.

Otro aspecto a tener en cuenta es la fuerza que se ejerce en esta zona. Para ello vamos a analizar al pastor alemán, ya que aparte, de ser una de las razas de perro más populares, este estudio de inercias se podría aplicar a otras razas similares.

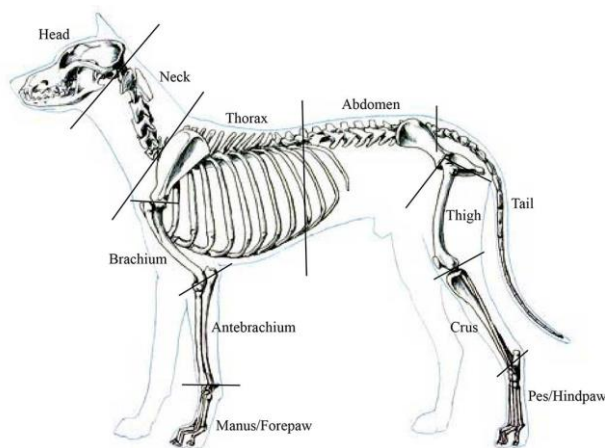


Figura 15: Fuerzas que actúan en el perro.  
Fuente: journals.plos.org

Utilizando la masa corporal total y el modelo geométrico, se pueden desarrollar 11 ecuaciones de regresión para predecir las masas de segmento, de las cuales nosotros analizaremos específicamente tres, que son las que forman la extremidad trasera.

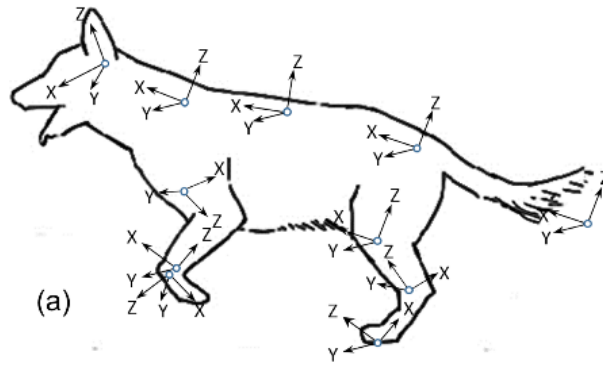


Figura 16: Fuerzas que actúan en el perro.  
 Fuente: journals.plos.org

Segment	$I_{int/ext}$			$I_{abd/add}$			$I_{flx/ext}$		
	mean		SD	mean		SD	mean		SD
Manus	6.37	±	0.79	10.26	±	1.25	9.83	±	1.17
Antebrachium	9.82	±	1.23	32.68	±	2.64	26.86	±	1.85
Brachium	29.87	±	4.06	51.46	±	8.07	43.69	±	7.16
<b>Pes</b>	<b>18.86</b>	<b>±</b>	<b>1.59</b>	<b>8.93</b>	<b>±</b>	<b>0.80</b>	<b>17.34</b>	<b>±</b>	<b>0.51</b>
<b>Crus</b>	<b>15.48</b>	<b>±</b>	<b>1.95</b>	<b>28.55</b>	<b>±</b>	<b>1.98</b>	<b>28.00</b>	<b>±</b>	<b>1.69</b>
<b>Thigh</b>	<b>100.61</b>	<b>±</b>	<b>9.24</b>	<b>79.74</b>	<b>±</b>	<b>12.24</b>	<b>109.91</b>	<b>±</b>	<b>11.69</b>
Head	253.67	±	5.53	191.61	±	16.20	248.60	±	10.24
Neck	155.04	±	15.89	160.27	±	11.19	142.75	±	19.62
Abdomen	1164.68	±	185.52	737.53	±	105.81	1457.73	±	213.35
Thorax	2811.71	±	160.47	1350.62	±	35.68	2825.10	±	170.99
Tail	8.21	±	1.41	60.70	±	4.37	48.50	±	4.27

Tabla 1: Fuerzas que ejercen los perros (1).  
 Fuente: journals.plos.org

$I'_{xy}$			$I'_{xz}$			$I'_{yz}$		
mean		SD	mean		SD	mean		SD
2.64	±	1.11	4.02	±	1.01	1.68	±	0.74
6.84	±	1.12	24.32	±	4.67	-5.33	±	5.57
8.85	±	3.27	17.16	±	2.96	19.12	±	9.80
5.36	±	0.82	7.29	±	0.76	2.40	±	0.98
3.77	±	3.18	29.28	±	2.49	3.14	±	6.80
19.00	±	3.27	28.01	±	3.71	38.78	±	3.51
51.79	±	5.16	78.18	±	6.94	82.20	±	7.29
50.00	±	7.23	34.66	±	3.88	46.17	±	9.04
162.88	±	20.11	246.50	±	58.04	70.23	±	283.44
318.51	±	10.12	701.83	±	43.53	1004.15	±	153.99
21.19	±	2.41	-435.32	±	1915.34	-2039.36	±	628.28

Tabla 2: Fuerzas que ejercen los perros (2).  
Fuente: journals.plos.org

Estas tres ecuaciones están situadas en *Pes*, *Crus* y *Thigh*, que equivalen a la pata trasera, metatarso y muslo. Se deberán sumar, ya que son la zona donde iría la prótesis y que resistirán las fuerzas.

Segment	Endpoints (cran-caud or prox-dist)	Segment Mass/ Total Mass		
		mean		SD
Manus	Mid carpus to distal 3rd phalanx	0.0072	±	0.0002
Ante-brachium	Lateral epicondyle to carpal jt	0.0138	±	0.0005
Brachium	Glenohumeral jt to lat epicondyle	0.0240	±	0.0013
Pes	Tuber calcaneus to distal 3rd phalanx	0.0082	±	0.0002
Crus	Femoral condyle to lateral maleolus	0.0150	±	0.0006
Thigh	Greater trochanter to femoral condyle	0.0451	±	0.0028
Head	Inion to prosthion	0.0770	±	0.0039
Neck	Atlas/axis to C7/T1	0.0661	±	0.0068
Abdomen	T13/L1 to tail base	0.2415	±	0.0153
Thorax	C7/T1 to T13/L1	0.3806	±	0.0101
Tail	Base of tail to tip	0.0080	±	0.0005

Tabla 3: Masas de un segmento respecto a la masa total.  
Fuente: journals.plos.org

CoM / Segment Length					Density (kg/m <sup>3</sup> )			Volume (cm <sup>3</sup> )			
R <sub>prox/cran</sub>		SD	R <sub>dist/caud</sub>		SD	mean		SD	mean		SD
0.4848	±	0.0089	0.5185	±	0.0091	934.02	±	18.10	287	±	12.9
0.3941	±	0.0055	0.6076	±	0.0053	977.54	±	17.10	521	±	30.7
0.4183	±	0.0183	0.5869	±	0.0197	974.37	±	12.71	908	±	86.2
0.5140	±	0.0044	0.4880	±	0.0042	1013.58	±	12.45	305	±	12.6
0.3659	±	0.0113	0.6364	±	0.0111	1010.60	±	19.38	548	±	33.3
0.4463	±	0.0115	0.5601	±	0.0124	939.78	±	13.40	1760	±	183.0
0.3165	±	0.0081	0.6842	±	0.0082	1004.18	±	20.29	1000	±	20.3
0.5627	±	0.0122	0.4431	±	0.0128	970.01	±	25.53	2550	±	292.0
0.4677	±	0.0047	0.5343	±	0.0050	963.89	±	7.71	9260	±	714.0
0.5368	±	0.0110	0.4670	±	0.0109	1083.39	±	83.44	13300	±	1070.0
0.3128	±	0.0158	0.6892	±	0.0162	900.63	±	63.73	345	±	45.1

Tabla 4: Masas, densidades y volúmenes.  
 Fuente: journals.plos.org

Además, disponemos de una tabla donde encontramos el segmento de masa respecto al total de esta, la densidad y el volumen de las zonas. Aquí también utilizaremos las casillas de pata trasera, metatarso y muslo. Tendremos esta tabla para la masa total que debería de tener la prótesis, repartición de las masas y el espacio de tendrían que ocupar.

## 4.2.2 TAMAÑOS DE LOS PERROS

Como la mayoría de población sabe, existe una gran variedad de razas de perros y esto conlleva a que haya, a la vez, una gran variedad de tamaños de caninos, aparte de todas las mezclas que se han creado a lo largo de los años variando aún más las medidas.

A continuación, mostraremos una tabla con los tamaños que nos interesan de los perros:

	Enanos	Pequeños	Medianos	Grandes	Gigantes
Altura (mm)	160-240	240-350	350-520	520-620	620-680
Anchura (cm)	90-150	140-260	160-310	260-400	260-400
Masa (kg)	2-5	5-14	14-25	25-50	30-50

Tabla 5: Medias y pesos de toda la variedad de perros.  
 Fuente: Elaboración propia



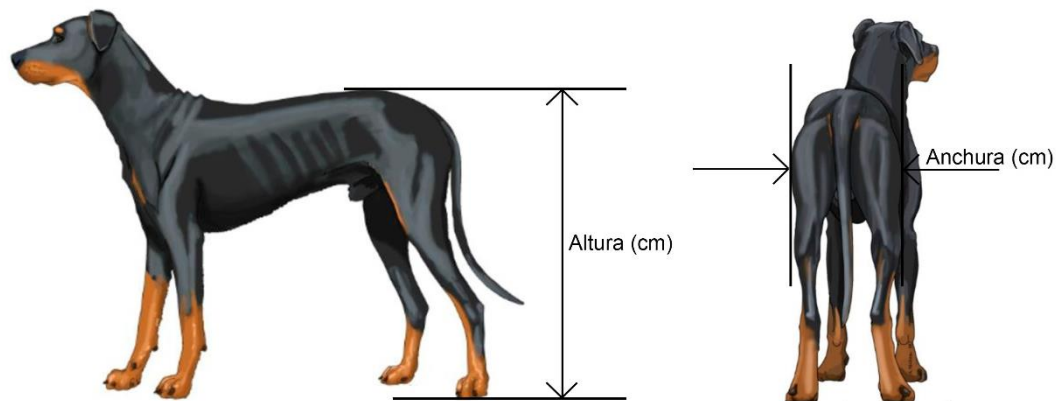


Figura 17: Medias de un perro para guiar en la tabla.  
Fuente: Editada de [www.imaios.com](http://www.imaios.com)

Como se puede observar, se ha añadido una fila de las masas dependiendo de los distintos tamaños para saber cómo actuarán las fuerzas y poder hacer una aproximación partiendo de las tablas anteriores. También se han puesto como un método para separar las distintas clases de perros.

Se han dividido las medidas de los perros en cinco columnas:

- Perros enanos: entre los perros que pesan menos de 5 kg. En este grupo pertenecen razas como Chihuahua, Pekinés o Yorkshire Terrier.
- Perros pequeños: entre los perros que pesan entre 5 y 14 kg. En este grupo pertenecen razas como Bull dog francés, Shiba Inu o Pug Carlino.
- Perros medianos: entre los perros que pesan entre 14 y 25 kg. En este grupo pertenecen razas como Dálmata, Bóxer o Husky Siberiano.
- Perros grandes: entre los perros que pesan entre 25 y 50 kg. En este grupo pertenecen razas como Doberman, Pastor Alemán o Labrador.
- Perros gigantes: entre los perros que pesan más de 50 kg. En este grupo pertenecen razas como San Bernardo, Mastín Inglés o Gran Danés.

La anchura se utilizará para tener en cuenta la forma de la prótesis que diseñaremos, dependiendo de la raza del perro.

### 4.3 PRÓTESIS

La prótesis es una extensión artificial que reemplaza un órgano, una pieza o un miembro del cuerpo. Esto puede ser consecuencia de una enfermedad que deteriorara partes del cuerpo, crecimiento alterado de la articulación, un accidente o sea necesario la extirpación de ciertas partes del cuerpo que contiene cáncer que podría crecer y propagarse. Las prótesis se pueden separar en dos grandes grupos: las exoprótesis (prótesis externa) y las endoprótesis (prótesis internas).

Al final, se hará una comparación de estos tipos de dispositivos para saber dependiendo de cómo funcionan, las características, los materiales y si actúan por separado o si se pueden complementar para cumplir mejor la funcionalidad.

### 4.3.1 EXOPRÓTESIS

Las que se usan por fuera del cuerpo y pueden quitarse o ponerse. Estas pueden ser prótesis dentales, de extremidad, etc.

Este tipo de prótesis se unen al muñón mayoritariamente por encaje, donde se crea un molde de la zona amputada y se diseña la prótesis a partir de ahí. También se le puede añadir un sistema de vacío dinámico, donde el usuario al colocarse su encaje se conecta de forma magnética el liner y el pistón creando un espacio al vacío que conecta la prótesis. Otra alternativa es la utilización de arneses unidos a la pierna para asegurar más la fijación.

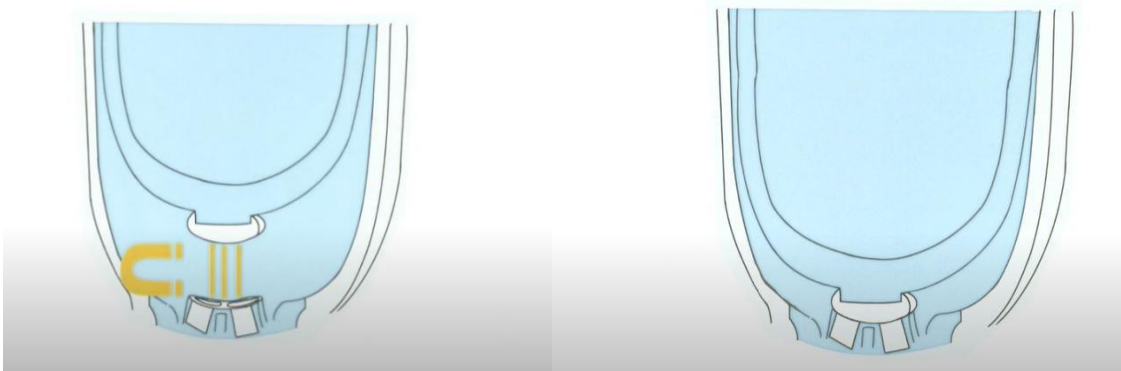


Figura 18: Funcionamiento de prótesis al vacío.  
Fuente: [www.youtube.com](http://www.youtube.com)

### 4.3.2 ENDOPRÓTESIS

Las que son implantadas por intervención quirúrgica y no se pueden extraer. Normalmente suele colocarse en órganos o huesos. La prótesis que se pueden fijar al hueso se puede hacer de diferentes formas:

- Con tornillos.
- Con anclajes especiales, con doble cúpula que se expande.
- Con cemento. Con o sin antibiótico. Se trata de un pegamento especial que endurece mediante una reacción química que genera calor. Se debe colocar en una superficie limpia y seca.

### 4.3.3 MATERIALES PARA LAS PRÓTESIS

Los materiales que se utilizan para el diseño de las prótesis son un aspecto de mucha importancia, ya que tienen que ser resistentes a los golpes, ligeros, combinar materiales ligeros con rígidos, etc. Los que se escogen últimamente son los siguientes:

- Polietileno. Que hace de acolchado entre los diferentes componentes.
- Cerámica. Se utiliza para las zonas de articulación, ya que es un material que se

gasta poco con el roce.

- Algunos metales ligeros como puede ser aluminio o titanio.
- Se está implementando fibra de carbono por su gran resistencia y maleabilidad.

#### 4.3.4 PRÓTESIS Y ÓRTESIS

Se hará una comparación de estos tipos de dispositivos para saber cómo funcionan, las características, los materiales y si actúan por separado o pueden juntarse para cumplir mejor la funcionalidad.

Una órtesis es un apoyo u otro dispositivo externo aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del cuerpo.

A menudo, confundimos estos dos conceptos, pero no son lo mismo. La diferencia principal entre las dos terminologías es que la órtesis no sustituye total ni parcialmente a un miembro, en cambio la prótesis sí. También, la otra característica principal es que la órtesis sirve para la rehabilitación de diversas enfermedades o para mejorar la funcionalidad de la zona afectada y la prótesis, sin embargo, la sustituye totalmente.

#### 4.4 ESTUDIO DE MERCADO

En el estudio de mercado haremos una búsqueda de empresas que se dediquen a vender prótesis diseñadas exclusivamente para perro. Después de esta búsqueda analizaremos los datos obtenidos por tal de implementar una matriz estratégica para posicionarnos en el mercado.

##### 4.4.1 PRÓTESIS DE MIEMBRO POSTERIOR DE ORTOCANIS

Fabricado en polipropileno y materiales de ortopedia modernos. Totalmente hecho a medida. Esto quiere decir que el modelo puede presentar variaciones al que se muestra en la imagen 1. A parte, la prótesis requiere un tiempo de adaptación.



Precio: 490,91 €

Figura 19: Prótesis de Ortocanis.  
Fuente: ortocanis.com

## 4.4.2 PRÓTESIS DE MIEMBRO POSTERIOR DE ORTOPEDIA CANINA

Las prótesis de ortopediacanina.com están fabricadas y diseñadas en España por Toni Ramon, director técnico, pionero en fisioterapia y la rehabilitación de perros en España. Él mismo se encarga de adaptar la prótesis. Esta prótesis con más éxito suele ser la de miembro anterior o posterior con amputaciones bajas, por debajo de carpo. La de miembro más alta, es más compleja y hay que recompensar al perro cuando la utiliza correctamente.



Precio: 764,50 €

Figura 20: Prótesis de Ortopediacanina.  
Fuente: ortopediacanina.com

Beta Implants es una compañía gallega líder en España con sus prótesis en animales con más de 4000 prótesis diseñadas. Su punto fuerte es que abarcan toda la cadena de valor y hacen productos innovadores a la carta en menos de 48h.

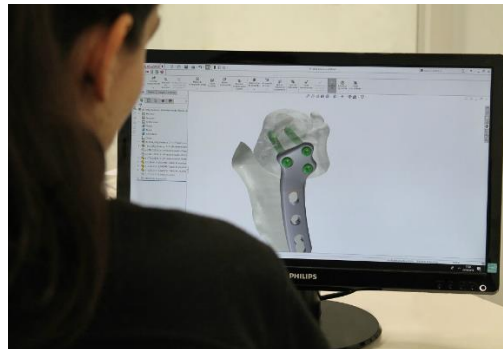


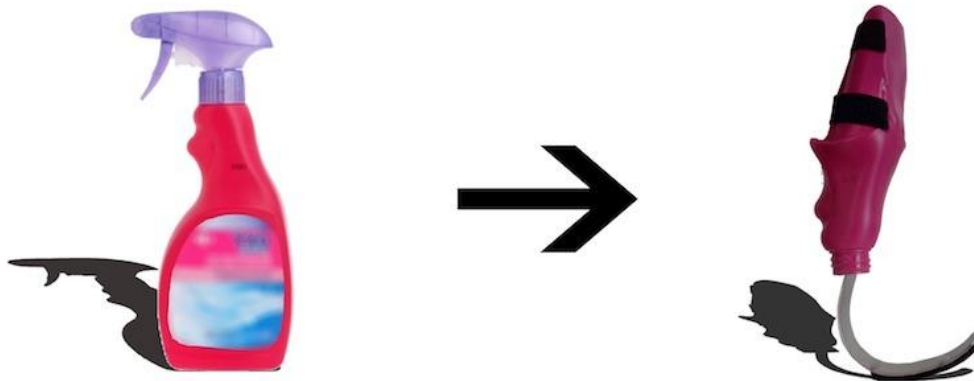
Figura 21: Diseño de implante.  
Fuente: www.betaimplants.com

Esta empresa se encarga de diseñar y fabricar los implantes. Por ello, pueden proporcionar piezas con diseños personalizados. Tiene un equipo con más de 10 años de experiencia en asesoramiento biomecánico y diseño de implantes. Para crear estos diseños, BETA Implants usa impresoras 3D y, a partir de un TAC O RM, puede saber qué tipo de correcciones necesita la deformación.

#### 4.4.4 PRÓTESIS ECOLÓGICA

La página web 'EcolInventos' nos ha dado a conocer una prótesis canina en 3D de bajo coste y materiales reciclados desarrollada por los hermanos Daniel e Iván Lobato, arquitecto y ambientólogo.

### *ECONOMÍA CIRCULAR - DISEÑO*



Se trata de un dispositivo creado a partir de envases reciclados, como podría ser de un

Figura 22: Señor Prótesis a partir de un bote limpiacristales.  
Fuente: [www.ecoinventos.com](http://www.ecoinventos.com)

limpiacristales, y un guantelete basado en las prótesis deportivas para absorber impactos y la transpirabilidad. Aunque ahora mismo es un prototipo, la intención es la elaboración de tutoriales y planos de libre acceso, para que centros de ONG con este tipo de casos puedan producir de forma gratuita las prótesis en sus propias instalaciones.

#### 4.4.5 ALTERNATIVAS A LAS PRÓTESIS

Según páginas web como [juegacontuperro.com](http://juegacontuperro.com) o artículos publicados como “La sorprendente recuperación de los perros con tres patas” de El País, afirman que, si una mascota tiene tres patas, esto no resulta un defecto en sí. Que muchas mascotas son felices con tres patas y que las limitaciones son mínimas.

Proponen soluciones y accesorios para facilitar sus vidas sin tener que recurrir a una prótesis:

- Arnés de soporte

Arnés de apoyo multiuso recomendado para perros de tres patas. Diseñado para que el “dueño/a” le ayude a subir o bajar escaleras, entrar o salir del vehículo o ayuda adicional cuando sea necesario. A parte, proporciona al perro una forma conveniente y segura de mejorar la movilidad.

## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Algunas ofrecen protección adicional para el pecho y vientre, añadiendo estabilidad al arnés. También hay arneses diseñados para la escalada deportiva, que proporciona un soporte directo para la cadera mediante unos lazos acolchados para las piernas.



Figura 23: Perro con arnés de soporte.  
Fuente: @tucothetripawd de Instagram

- Sillas de ruedas

Hay perros a los que, aparte de tener tres patas, tienen problemas de fuerza en estas o se les cansan muy rápido. Esto se debe a que, por su peso o su edad, tener tres extremidades les resulta insuficiente para mantener su día a día. Para ello, una solución bastante acertada sería la utilización de una silla de ruedas adaptada.



Figura 24: Perro con silla de ruedas.  
Fuente: [www.doogweb.es](http://www.doogweb.es)

Con esta silla de ruedas el canino reduce el esfuerzo, ya que la pata amputada está sujeta junto a la que tiene a su lado y así solo tiene que utilizar las dos de adelante o las dos de atrás. Este producto está pensado para perros de movilidad reducida para que el animal tenga más autonomía, evitar pérdida de masa muscular, la anquilosis por desuso prolongado y evitar úlceras en la piel debido al apoyo permanente en la cama o en el suelo.

- Chalecos salvavidas

Para un perro de tres extremidades, uno de los mejores ejercicios que puede realizar para mantener una buena musculatura sin sufrir lesiones es la natación. El peligro que

corren estas mascotas es la probabilidad de ahogarse por su falta de extremidad. Por ello, una buena opción es crear chalecos salvavidas parecidos a un arnés de soporte.

- Calcetines antiderrapante para perros

Este tipo de calcetines proporcionan adherencia a la extremidad que tiene que soportar más fuerzas en superficies resbaladizas. También protege la pata de las rozaduras, la abrasión, el pavimento caliente, la nieve y el hielo.

#### 4.4.6 MATRIZ ESTRATÉGICA: LAS 5 FUERZAS DE PORTER

Es un modelo creado por Michael Porter en 1987 en el cual se describen cinco fuerzas que influyen en las estrategias competitivas de una empresa y que determinan las consecuencias de rentabilidad a largo termino den un segmento en el mercado.

Estos cinco aspectos a tener en cuenta son los siguiente:

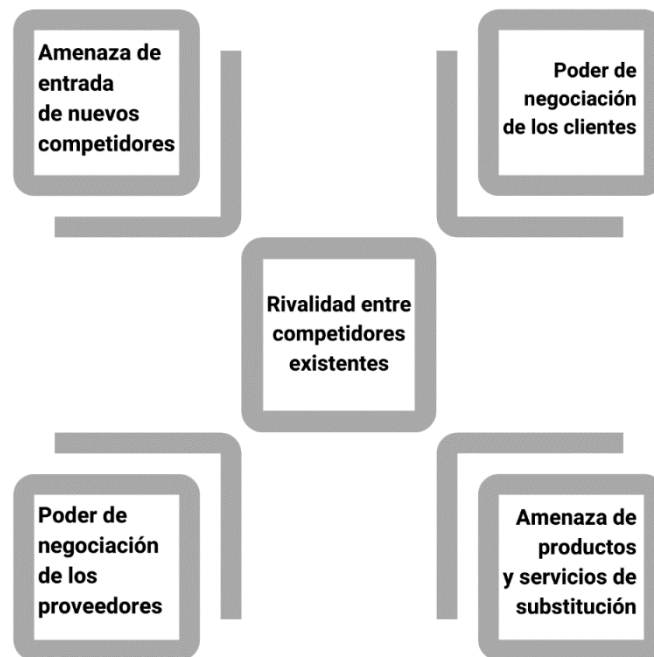


Figura 25: Esquema de las 5 fuerzas de Porter.  
Fuente: Elaboración propia

- Amenaza de nuevos competidores

Muy alta. Al ser un mercado tan nuevo es muy probable que surjan nuevos competidores con nuevos diseños que proporcionen mayor funcionalidad y menor precio comparado con los actuales.

- Rivalidad entre competidores existentes

Media. Nuestro producto se enfrenta a pocos competidores, pero estos están bien

posicionados o tienen un buen reconocimiento por sus productos.

- Poder de negociación de los proveedores

Alta. Al empezar siendo una empresa pequeña nuestro capital no será muy elevado y, por lo tanto, la mejor forma de obtener beneficios a corto plazo sería negociar con los proveedores y que nosotros tengamos que montar la prótesis simplemente. Por esta razón, hacer un buen trato con los proveedores puede ser crucial para que la prótesis pueda producirse.

- Poder de negociación de los clientes

Media. El producto que se ofrece tiene la intención de ser lo más económico posible y que se pueda personalizar para que sea único para su perro. A parte, está pensado para que se pueda montar con facilidad para limpiarlo y que se hagan un mantenimiento cada cierto tiempo.

- Amenaza de productos y servicios de sustitución

Alta. Por la falta de productos y los precios tan elevados hacen que el cliente busque una alternativa al problema de su mascota. Además, si sumamos que en algunas páginas web dicen que un perro con tres patas puede realizar una vida normal (cuando a largo plazo pueden desarrollar problemas en la espada y en el resto de extremidades) hacen que el cliente le quite importancia y prefieran un producto alternativo o simplemente nada.

#### **4.4.7 MATRIZ DE CRECIMIENTO DE PORTER**

Una vez realizadas las 5 Fuerzas de Porter, haremos la matriz de crecimiento de Porter, donde propone tres estrategias genéricas describiendo los diferentes rumbos que puede tomar la empresa para mejorar el cumplimiento y posicionarnos mejor delante de los competidores. Estas tres estrategias son la liberación en el coste, diferenciación y el enfoque por segmentación.





Figura 26: Matriz de crecimiento de Porter.  
Fuente: Elaboración propia

## 4.5 CONCLUSIÓN DE ESTUDIOS PREVIOS

Una vez realizado el análisis anatómico del animal, hemos llegado a la conclusión de que vamos a tener que crear muchos modelos o crear una forma de adaptar los tamaños de nuestra prótesis para la mayoría de alturas de patas traseras de las muchas razas que hay de perro. Por lo tanto, para tener una guía aproximada de los perros a los que tendremos que adaptarnos, hemos creído necesario dividirlo en tres grupos:

- Perros domésticos de tamaño medio.  
Serían el resto de perros de peso y alturas a la que nuestra prótesis está diseñada y que pueden tener problemas en las extremidades por accidentes o enfermedades.



## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Figura 27: Perro con amputación de tamaño medio.  
Fuente: [www.ortocanis.com](http://www.ortocanis.com)

- Perros domésticos de tamaño grande.

Los perros de raza grande son parte importante de a la que tenemos que dirigirnos porque la prótesis deberá estar preparada para soportar las fuerzas y el peso de estos animales.



Figura 28: Perro de tamaño grande.  
Fuente: [www.ortocanis.com](http://www.ortocanis.com)

- Perros con profesiones peligrosas.

En nuestra sociedad existen trabajos que una persona no los puede realizar tan bien como la haría un canino, ya sea por su gran olfato, su tamaño o su rapidez. Estas profesiones pueden ser perros entrenados para ser policía, soldado o cazadores. Por ello, cuando un perro realiza este tipo de trabajo pueden estar expuestos a sufrir accidentes.



Figura 29: Perro policía.  
Fuente: [www.rexpetcare.com](http://www.rexpetcare.com)

En este proyecto nos centraremos en las prótesis externas, concretamente en las que están enfocadas en las extremidades, pero no descartaremos los otros tipos de prótesis u órtesis para la búsqueda de materiales o mecanismos que nos puedan ayudar a diseñar nuestra prótesis.

En el análisis de mercado no hemos encontrado prácticamente productos estandarizados a la venta, solo dos y muy caros. El resto han sido proyectos sin ánimo de lucro o empresas privadas que no dan datos sobre sus productos o precios. También se ha decidido diseñar una prótesis para extremidad trasera, ya que los dos productos encontrados eran de extremidad delantera. A demás, a la extremidad trasera, al ser más compleja, se podrá desarrollar mejor el trabajo.

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Esta falta de mercado por un lado es buena, ya que es un mercado muy nuevo es relativamente fácil, si presentamos un buen producto, que podamos triunfar y seamos conocidos.

Por otro lado, tenemos una dificultad por este mismo motivo debido a que no tenemos ningún ejemplo ni ningún camino a seguir para guiarnos y posicionar el producto. Así que deberemos de ir probando métodos y estrategias para irnos posicionando en el mercado.

Por esta falta de mercado, no hemos podido encontrar en ninguna base de datos información que nos muestre en qué país hay más prótesis, cuantos ingresos genera cual es el precio medio.

## 5. BRIEFING

En el apartado anterior se ha realizado una fase de exploración para saber a qué problemas nos enfrentamos y cómo está el mercado, definiendo algunos factores clave del proyecto.

En esta parte del trabajo, se darán las pautas generales con las que se desarrollarán las bases para poder empezar a planificar y ejecutar el proyecto.

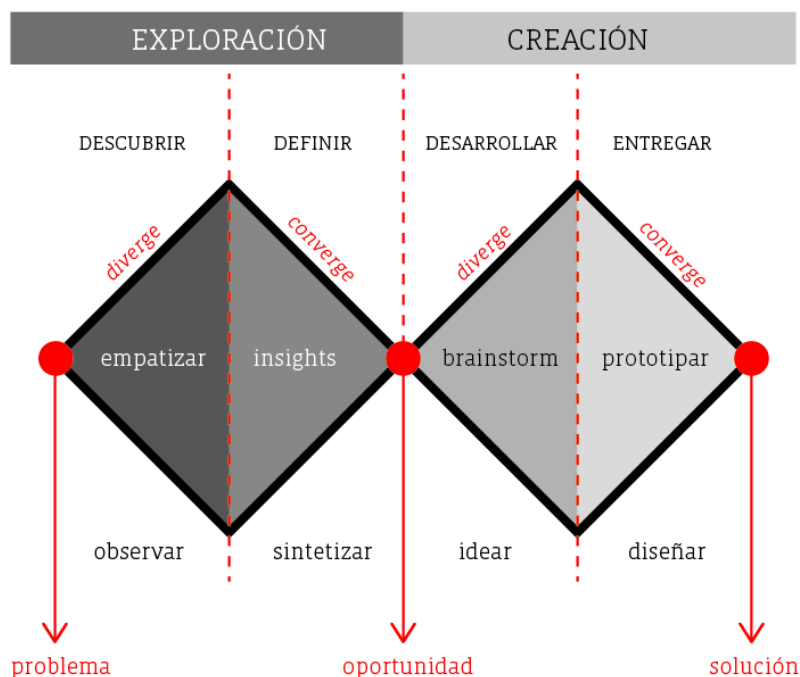


Figura 30: Fases del briefing.  
 Fuente: Elaboración propia

### 5.1.1 FRASE DE UTILIDAD Y *STORYBOARD*

Prótesis para caninos con medida regulable, adaptable a las necesidades de la extremidad amputada, fácil e intuitiva para desmontar y limpiar...

SUJETO	VERBO	PREDICADO
Usuario	Función	Nueva prótesis
Mascota	Montar	Adaptable
Perro policía	Limpiar	Accesible
Perro militar	Corregir columna	Larga vida útil
Perro de caza	Mejorar día a día	Para la mayoría de perros
Discapacidad		Intuitivo
Minusvalía		

Tabla 6: Separación de sujeto, verbo y predicado para crear frase de utilidad.  
 Fuente: Elaboración propia

## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera Gerald Nicolás Frías Zúñiga

A continuación, analizaremos el método de uso de un precedente de nuestro producto con un *storyboard*.

Para poner en contexto el proyecto, nos pondremos en la piel de un 'dueño' que tiene como mascota un perro, el cual pierde su extremidad trasera al ser golpeado por un camión.

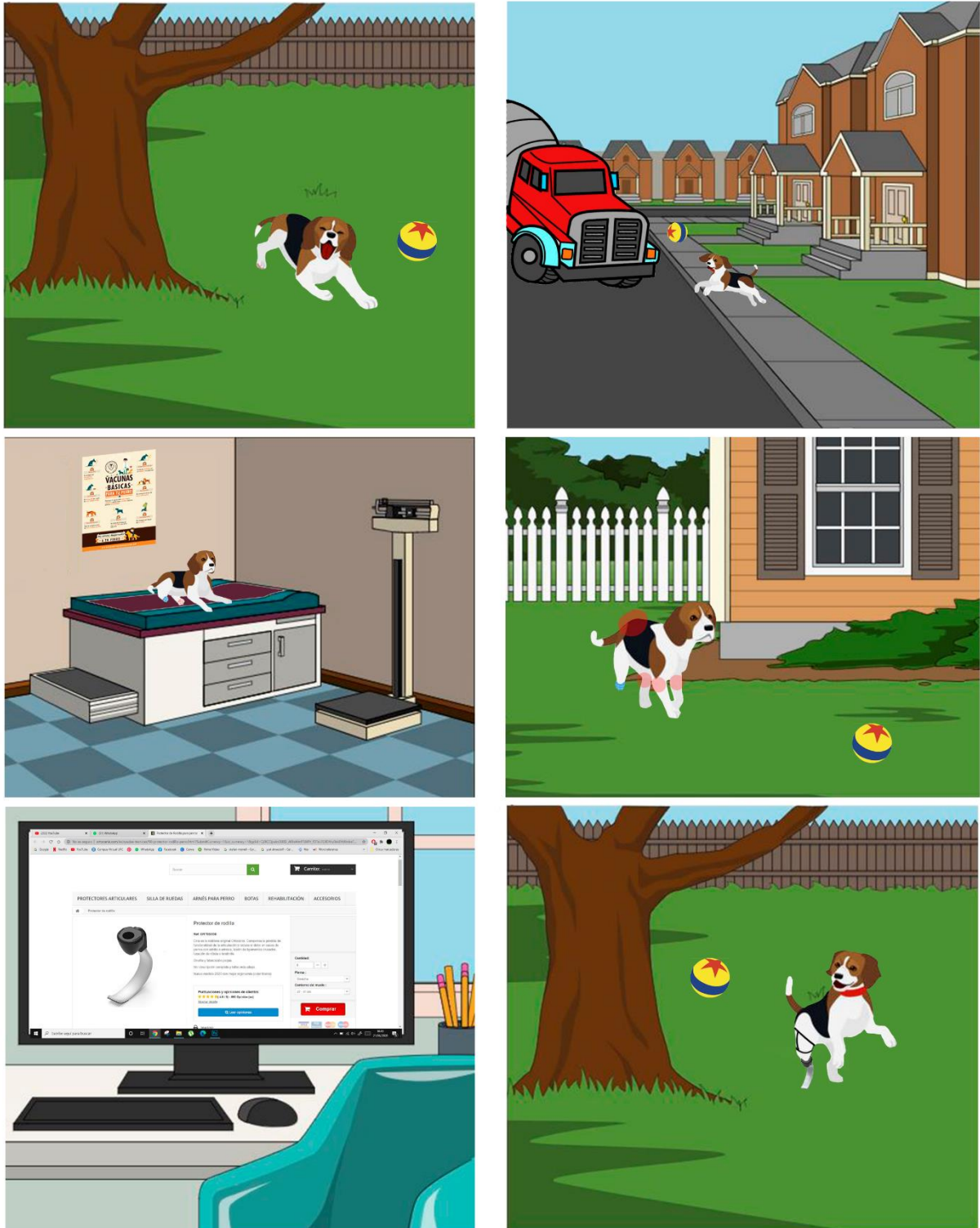


Figura 31: *Storyboard* del problema de perder una extremidad.  
Fuente: Elaboración propia

## 5.1.2 ANÁLISIS DEL USUARIO

- Cadena de usuario

Elementos de la cadena	Evaluación	Justificación
Transportista	Menor	Solo se encarga del transporte y no interactúa con el producto.
Empleados tienda	Menor	Poco frecuente.
Veterinario	Mayor	Encargado de adaptar la prótesis a la mascota y de su mantenimiento.
Mascota	Crítico	Es quien llevará la prótesis.
“Dueño” del animal	Mayor	Quien estará a cargo de mantener la prótesis en buen estado.

Tabla 7: Todas las personas que participan en el producto una vez fabricado.  
 Fuente: Elaboración propia

- Perro

Características diferenciales	Evaluación	Justificación
Físicas:		
-Peso/Talla	Mayor	Dependiendo de estos factores la prótesis deberá adaptarse.
-Edad	Mayor	Cuanto mayor de edad es la mascota, más tiempo de adaptación y de aceptación a la prótesis.
-Tipo de lesión	Mayor	Dependiendo de la lesión habrá que adaptar la prótesis.
Culturales:		
-Variaciones de modelo	Mayor	Por las necesidades de la mascota hay que ir adaptando el modelo.
-Diferentes razas de perro	Mayor	Dependiendo de la raza el tamaño del perro varía y la forma de la extremidad también.
Contexto y lugar de uso	Evaluación	Justificación
-Agua cerca	Crítico	Seguridad para la mascota y para la prótesis en sí, ya que tendrá componentes de metal y plástico que se pueden dañar.
-Calentamiento	Mayor	Dilatación de los materiales y los efectos que puede tener en la unión de la prótesis con la

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
 Gerald Nicolás Frías Zúñiga

-Exceso de suciedad	Mayor	extremidad. Mantenimiento y limpieza de los componentes de prótesis. Debe de ser fácil de limpiar.
-Seguridad con los elementos metálicos	Crítico	Asegurarse de que los elementos metálicos no provoquen lesiones a la mascota.
-Resistencia de los materiales	Crítico	Los materiales y los movimientos de la prótesis tienen que aguantar el estilo de vida de la mascota.
Secuencia de operaciones	Evaluación	Justificación
-Llevar el perro para tomar las medidas de la extremidad amputada.	Menor	El dueño del perro solo tiene que transportarlo.
-Escanear la zona afectada y las medidas del perro.	Crítico	Dependerá de ello la funcionalidad de la prótesis.
-Seleccionar de la prótesis medidas para el encaje y la altura del perro.	Mayor	Es importante, pero con los estudios hechos anteriormente no debería haber mucha complicación.
-Colocar la prótesis en la extremidad amputada ajustando con las correas.	Mayor	Varía la funcionalidad dependiendo de lo bien que se ajuste.
-Entrenamientos con el perro para que se adapte a su nueva extremidad.	Crítico	Nos dirá si el estudio que hemos realizado se ha hecho bien.
-Mantenimiento y limpieza de la prótesis.	Mayor	Garantizará que la prótesis tenga una vida útil larga.

Tabla 8: Características que puede tener un perro, contexto y lugar de utilización de prótesis y la secuencia de operaciones de una prótesis.  
 Fuente: Elaboración propia

### 5.1.3 CUADRO FUNCIONAL

FUNCIONES		Prótesis rígida	Prótesis ecológica	Arnés de soporte	Silla de ruedas	
PRINCIPAL	Soporte para que el perro pueda transportarse de forma autónoma.	CR	SI	SI	NO	SI
DERIVADAS	<b>Respecto al perro</b>					
	Protección a factores externos.	ME	NO	NO	SI	NO
	Adaptabilidad rápida del perro a la prótesis.	MA	NO	NO	SI	SI
	Se hace un escáner a la extremidad amputada para que el dispositivo se acople lo mejor posible.	MA	NO	NO	NO	NO
	Corrección del movimiento.	CR	SI	SI	NO	SI
	Ajustable para diferentes tamaños de perros.	CR	NO	NO	NO	NO
	<b>Respecto al “dueño” del perro</b>					
	Larga vida útil.	CR	SI	NO	SI	SI
	Limpieza del dispositivo rápida.	MA	SI	SI	SI	NO
	Mantenimiento de las piezas.	MA	NO	NO	NO	NO
COMPLEMENTARIAS	<b>Funciones estéticas y sociales</b>					
	Aspectos estéticos.	ME	SI	SI	NO	NO
	Dispositivo socialmente aceptado.	MA	SI	NO	SI	SI
	Personalización de colores.	ME	NO	NO	NO	NO
	<b>Funciones ecológicas</b>					
Respeto el medio ambiente.	MA	NO	SI	NO	NO	

Tabla 9: Funciones principal, derivadas y complementarias que puede tener una prótesis.  
Fuente: Elaboración propia

ME- Importancia menor  
MA- Importancia mayor  
CR- Importancia crítica



### 5.1.4 PRECEDENTES

El precedente que se ha escogido ha sido principalmente la de los corredores paralímpicos. Nos interesa tener conocimiento sobre prótesis para corredores porque deben ser robustas, pero también ligeras y compactas. La prótesis tiene que ser capaz de soportar grandes cargas, ya que en esta actúan mayores fuerzas cuando se corre que cuando se camina.

Esta es una de las razones principales por la cual nos centraremos en este tipo de prótesis, ya que los perros tienen una vida activa y hay que tenerlo en cuenta para el diseño final.

Este tipo de prótesis tipo *flex foot* tienen una ballesta de carbono de alta resistencia y muy ligera, lo cual proporciona un alto nivel de propulsión y estabilidad para las curvas.



Figura 32: corredor paralímpico.  
Fuente: [www.cooperativa.cl](http://www.cooperativa.cl)

Este tipo de prótesis tienen una forma de “J” e imitan la acción de la articulación anatómica del pie y el tobillo. La eficacia de esta prótesis se debe a que se comprime con el impacto al correr y vuelve a su forma original, liberando la energía almacenada y propulsando al corredor hacia adelante.

### 5.1.5 AGUJEROS Y VENTANAS

Los agujeros que tenemos son los que están destacados en rojo en la tabla ... de funciones.

Encontramos tres en derivadas y una en complementarias, de las cuales una es crítica, otra menor y dos en mayor. A partir de estas condiciones realizaremos unas posibles ventanas y las iremos argumentando. Hay que dejar claro que como mínimo en las ventanas tiene que haber una función crítica para poder entrar en un mercado donde haya demanda.

Una ventana donde se puedan resolver los tres puntos hemos visto conveniente la unión de escáner la extremidad amputada para que el dispositivo se acople lo mejor posible, ajustar la prótesis al tamaño del perro y la personalización de esta, y todo se haga en un mismo lugar. Esta es una forma rápida y sencilla de poder resolver el agujero.

El otro agujero, donde menciona el mantenimiento de la prótesis, no lo podemos añadir directamente a la ventana que tenemos, ya que el mantenimiento será a largo plazo y en varias veces, y los puntos comentados anteriormente son solo al principio y una sola vez. A pesar de ellos, creemos que es posible integrarlo indirectamente.

### **5.1.6 CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

Una vez tenemos los puntos críticos claros estructurados y brevemente argumentados pasamos a la acción convirtiendo las ventanas metafóricas en soluciones reales basadas en la ciencia y tecnología.

A partir de los criterios de selección y puntos críticos se puede conseguir una guía ya bastante clara sobre los puntos más fuertes de nuestro producto, donde identificaremos las cualidades que este puede tener respecto al mercado actual.

Como hemos dicho antes, esto se podría resolver fácilmente si todas estas acciones se realizan a la vez. Cuando el “dueño” del perro venga con él a comprar nuestro producto, podemos escanear la extremidad, el peso y proporciones del perro y, una vez realizado, elegir los colores que el cliente quiera. Para ajustar la prótesis al animal, el técnico deberá de acudir a unas tablas de medidas donde pueda combinar diferentes tamaños de los componentes.

Después también se pueden añadir unas medidas de mantenimiento donde el perro con su dueño deberá de acudir al lugar donde se ha creado la prótesis para comprobar si la prótesis ha sufrido alguna deformación o daño que se pueda corregir y así garantizar el buen funcionamiento del producto, resolviendo también el agujero que teníamos.

### **5.1.7 ELECCIÓN**

Como justificación, principalmente podemos decir que, aparte de crear un producto fiable, estamos ayudando a que tenga una vida útil lo más larga posible y así, a la vez, ayudamos al perro a prolongar su estilo de vida con la prótesis. Ya que el resto de prótesis o dispositivos, una vez comparados, no se pueden llevar ningún sitio si sufren algún daño o, si se hace, el precio que tiene la reparación es muy elevada.

Gracias a un buen planeamiento de los problemas y un buen desarrollo de las soluciones más viables podemos confirmar que la creación de este producto es posible y viable, así como su posterior fabricación. Como es un producto que mejora la calidad de vida del perro, queremos hacer hincapié en facilitar al usuario la mayoría de aspectos posibles y nos gustaría que el precio fuera lo más asequible posible. A pesar, de ello, sabemos que con el servicio que estamos ofreciendo y, por ello, el precio será un poco elevado. Pero, aun así, nuestra intención es que sea más asequible que los que hay actualmente en el mercado.

Dicho esto, podemos afirmar que una vez el usuario adquiera dicho producto encontrara los siguientes beneficios:

- Una prótesis adaptada a la condicione de cada paciente.
- Personalizable para que sea única.
- Con mantenimiento que garantice si vida útil.

Respecto el fabricante, encontrara facilidad para construir gracias a nuestro diseño modular, diferenciando correctamente cada componente. También priorizar la utilización de materiales eco sostenibles y que no afecten a la integridad de la prótesis.

Para finalizar, cabe destacar el beneficio socio-cultural que obtenemos presentando esta nueva prótesis, ya que integramos una tecnología que hasta ahora solo utilizaban las personas adaptándola para que puedan aprovecharla también los perros. Esto generaría un cambio cultural, demostrando que un perro con una extremidad menos puede tener una segunda oportunidad y una vida digna.

### **5.1.8 TIPO DE DISEÑO**

La optimización de la utilidad, ofreciendo montaje simple y limpio. La funcionalidad que presentamos, que se intenta semejar a todos los movimientos y fuerzas que haría una extremidad sana. Y el diseño estético atractivo, interesante y personalizable, hacen que el tipo de diseño que presenta nuestro producto sea poético.

Para acabar comentaremos algunos aspectos de nuestro diseño final.

1. Aspecto exterior o estético, donde hemos querido hacer un diseño compacto y que se asemeje lo máximo posible a la extremidad sana del perro. A parte de la forma, también queremos ofrecer la oportunidad de añadir alguna personalización como podría ser el color para que se asemeje más aún al animal y que sea única para él.
2. Aspecto interior, donde hemos querido utilizar el menor número de piezas posible para que sea simple de montar y de fabricar. La prótesis se puede separar fácilmente en dos bloques: la parte flexible, que estará en contacto con el terreno y soportará las fuerzas que realice el animal, y la parte rígida que es la que estará en contacto con la zona amputada y actuara como unión. La parte de la guía para ajustar la altura se hará con un mecanismo corredera que creemos que será lo más limpio posible.
3. Para garantizar que la prótesis esté lo mejor sujeta, hemos pensado que, a parte de la unión de la parte dura con la extremidad afectada, se pueden añadir un tipo de anclajes que vayan sujetos al chaleco que están empezando a utilizar los perros últimamente, sustituyendo a las correas de cuello que pueden hacer daño al animal.

## 6. DESARROLLO Y PROPUESTA DEL BRIEFING

En este apartado de desarrollará todo lo que se ha recogido en el briefing, creando la prótesis con todas sus características.

### 6.1 ESTUDIO DE CONCEPTOS

Para llegar a un diseño que pueda ser funcional y competir en el mercado actual, se ha empezado con unos bocetos de ideas que se puedan añadir al producto final, teniendo en cuenta las necesidades que queremos solventar, los estudios previos que hemos realizado y lo analizado en el mercado.

Se van a presentar tres bocetos antes del diseño final, con algunas características y cómo se vería el perro con ellas.

#### 6.1.1 PRIMER BOCETO

El primer boceto se trata de una prótesis con un muelle para que pueda impulsar al perro al correr. La parte inferior sería de un material flexible para mejorar el movimiento.

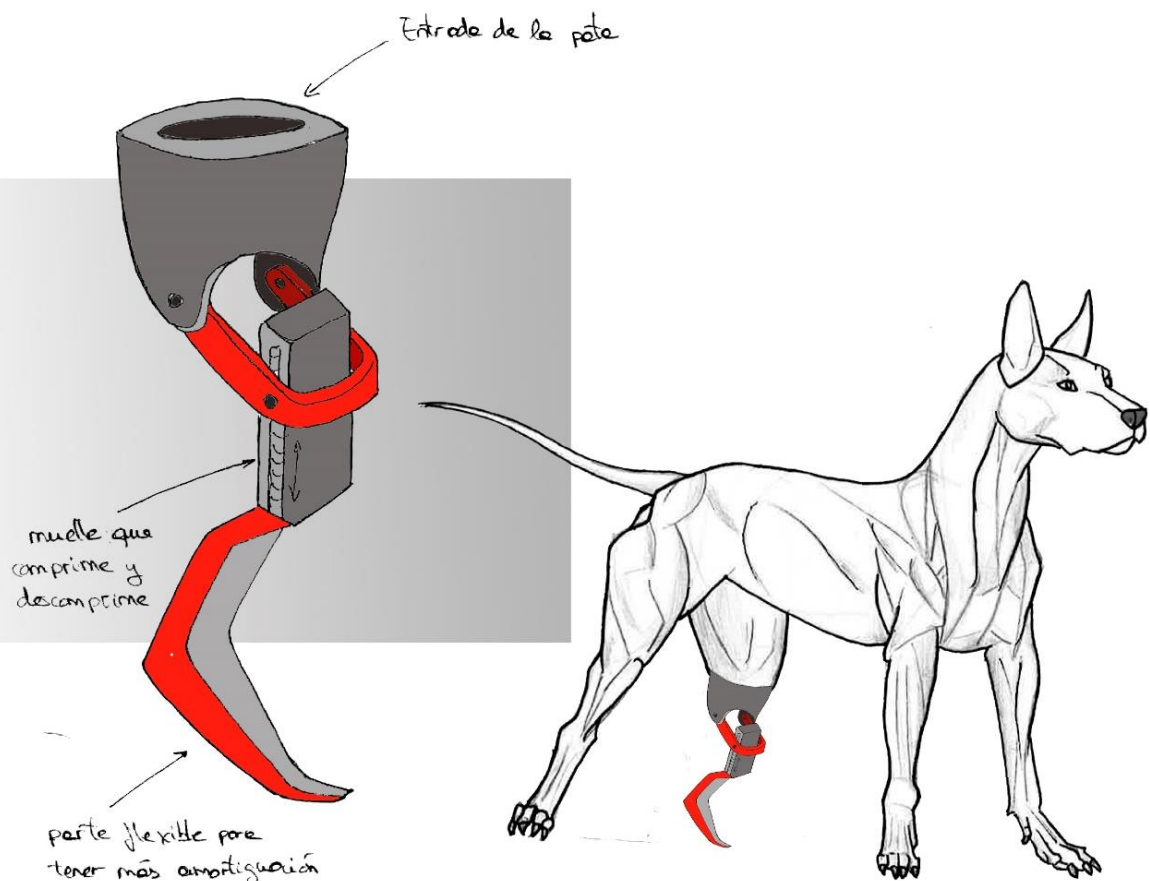


Figura 33: Primer boceto con representación de perro usándola.  
Fuente: Elaboración propia

### 6.1.2 SEGUNDO BOCETO

Este boceto elimina el muelle y lo sustituye por un regulador de altura para ajustarlo a la altura del animal. También cuenta con una parte flexible en la parte inferior.

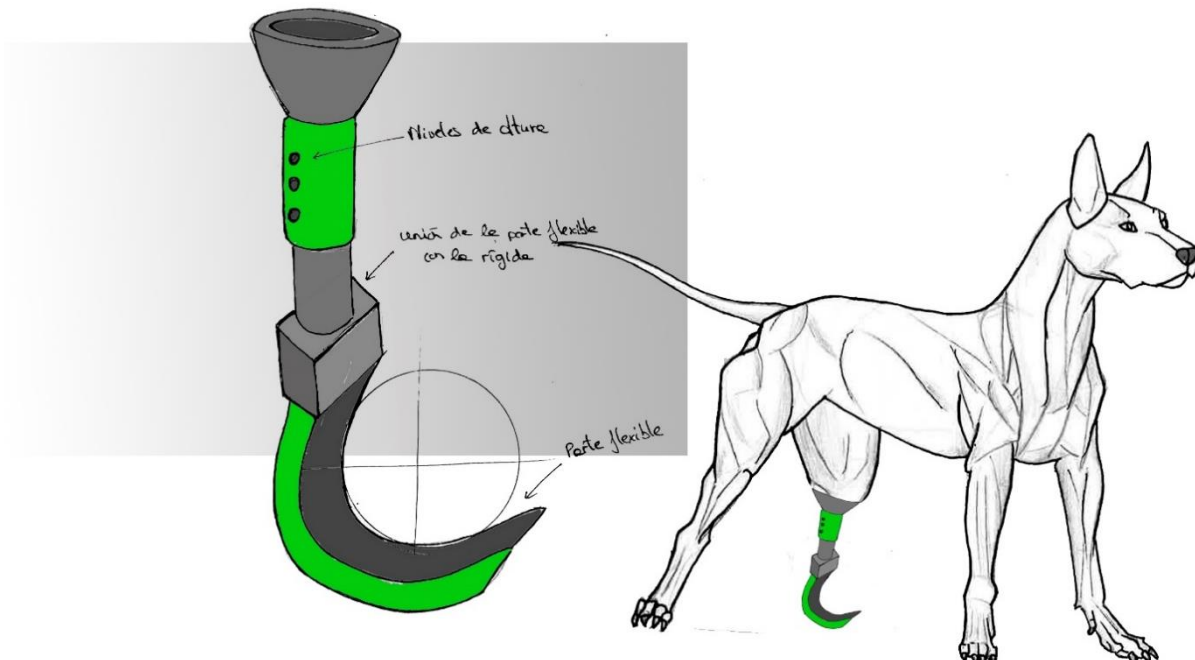


Figura 34: Segundo boceto con representación de perro usándola.  
Fuente: Elaboración propia

### 6.1.3 TERCER BOCETO

Este último boceto cuenta con un regulador diferente al anterior y tiene un diseño más robusto. La parte flexible es más grande para amortiguar más los movimientos.

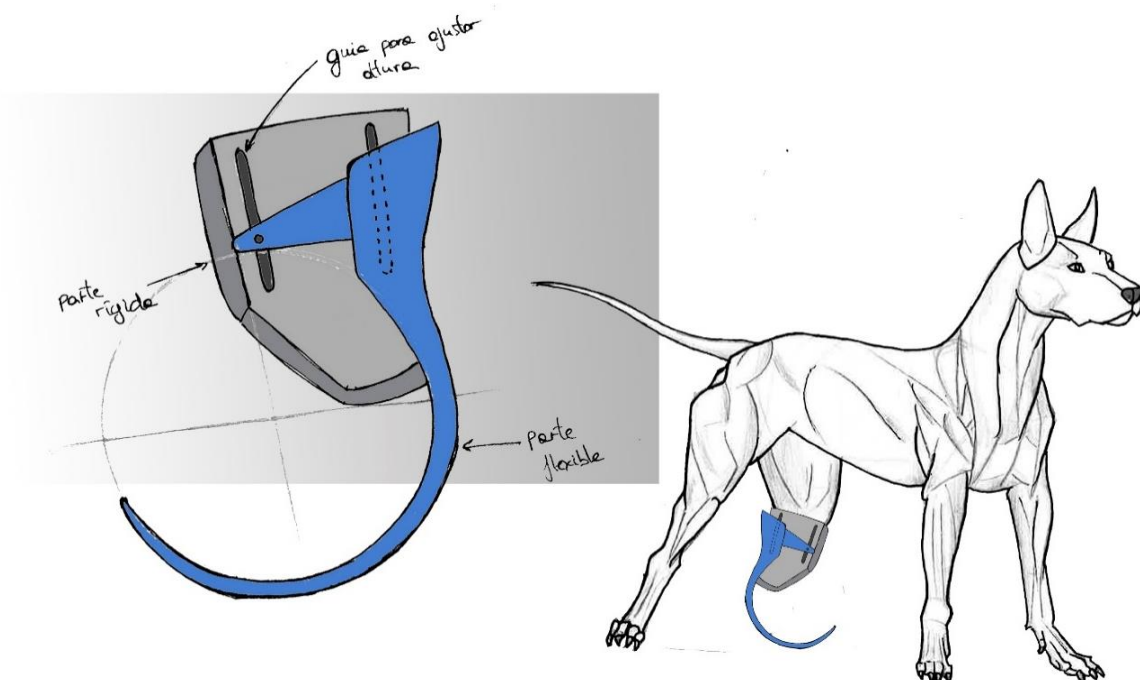


Figura 35: Tercer boceto con representación de perro usándola.  
Fuente: Elaboración propia

## 6.2 BOCETO CON EL DISEÑO FINAL

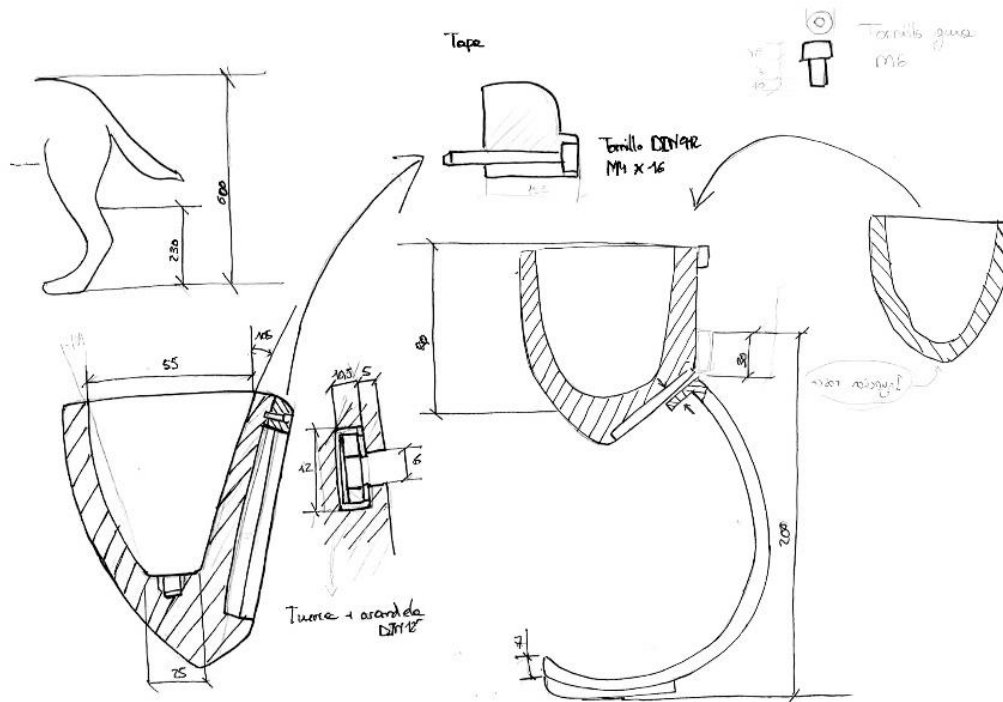


Figura 36: Bocetos del diseño final.  
Fuente: Elaboración propia

## 6.3 PRIMER DISEÑO 3D

Con el boceto del diseño final propuesto se va a realizar el primer diseño 3D. Es posible que una vez realizado el diseño se tengan que hacer algunas rectificaciones de medidas o mecanismos para que la prótesis sea mejor.

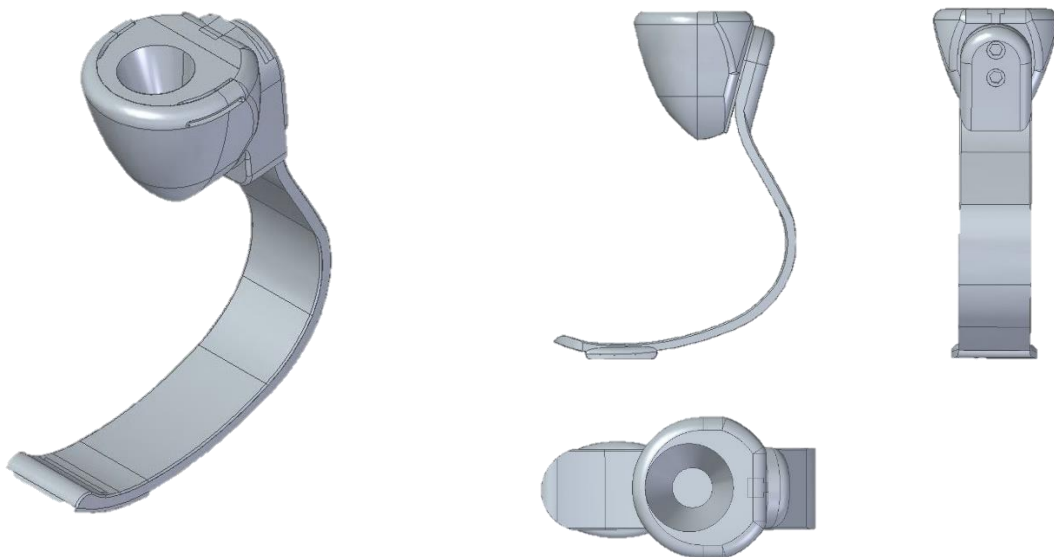


Figura 37: Vista isométrica del diseño 3D junto al alzado, planta y perfil.  
Fuente: Elaboración propia

## 6.4 CORRECCIONES DEL DISEÑO 3D

Después de acabar el primer diseño 3D, nos dimos cuenta de algunos fallos que presentaba. Para resolverlos editaremos el diseño y se explicaran las correcciones junto a los errores (al lado izquierdo).

### 6.4.1 SEPARAR COMPONENTES DE LA PATA

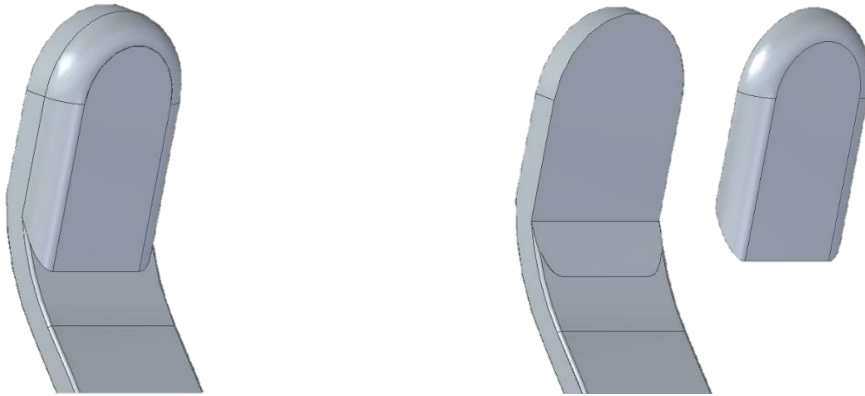


Figura 38: Diferenciación de componentes.  
Fuente: Elaboración propia

Esto se debe a que en el primer diseño se especificó que toda la pata fuera de fibra de carbono. Pero se decidió separar en dos piezas con dos materiales diferentes. Esta tapa se encarga de proteger la fibra de carbono de las cabezas de los tornillos y de dar más recorrido a estos.

### 6.4.2 CAMBIO DE DISTANCIAS ENTRE HEMBRAS



Figura 39: Diferenciación de componentes.  
Fuente: Elaboración propia

Este cambio de distancias entre centros se debe principalmente a que mejorará la sujeción entre la carcasa y la pata y, a la vez, impedirá la rotación lateral.

### 6.4.3 REDISEÑO DEL HUECO PARA PONER LA EXTREMIDAD AMPUTADA

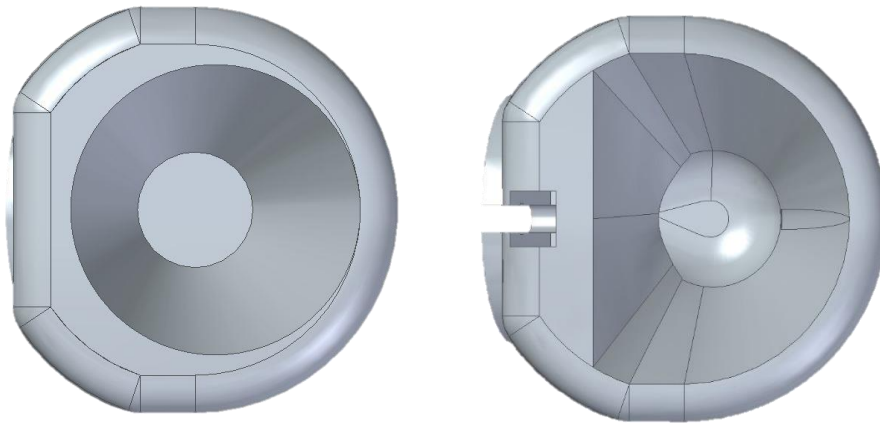


Figura 40: Mejora en la extrusión de la carcasa.  
Fuente: Elaboración propia

Se ha cambiado la extrusión para que ocupe más y siga el contorno de la carcasa. Con este cambio se ahorra material y, a la vez hay más hueco para la entrada de la extremidad amputada. También se le ha redondeado el fondo para que encaje mejor.

### 6.4.4 GUÍAS PARA LA PATA

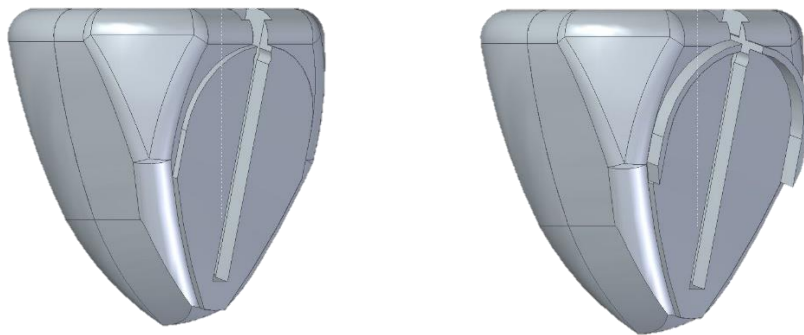


Figura 41: Carcasa con guía para la pata.  
Fuente: Elaboración propia

Se han añadido unas guías en los laterales para impedir el giro lateral de la pata. Hay un inconveniente, el recorrido de la guía es corto y si ajustamos la pata en la zona más baja puede que no sirvan las guías. En el conjunto veremos si funciona.



### 6.4.5 CAMBIO DEL SISTEMA DE GUÍA

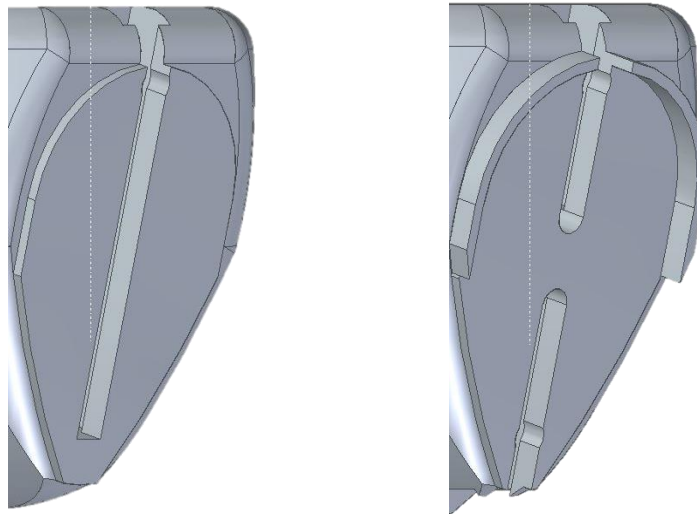


Figura 42: Rediseño de las guías.  
Fuente: Elaboración propia

Se ha decidido hacer un rediseño de las guías para que haya unos límites y no pasen en banda los tornillos y rompan la tapa superior.

### 6.4.6 CREACIÓN DE OTRA TAPA



Figura 43: Creación de tapa inferior.  
Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, al hacer el rediseño de la guía de la pata, se ha tenido que crear una tapa inferior ya que al haber un límite en el medio de la guía, la tuerca y arandela del tornillo guía que va por debajo no se podía pasar por la nueva guía.

### 6.4.7 CAMBIAR LA FORMA DEL CALCETÍN

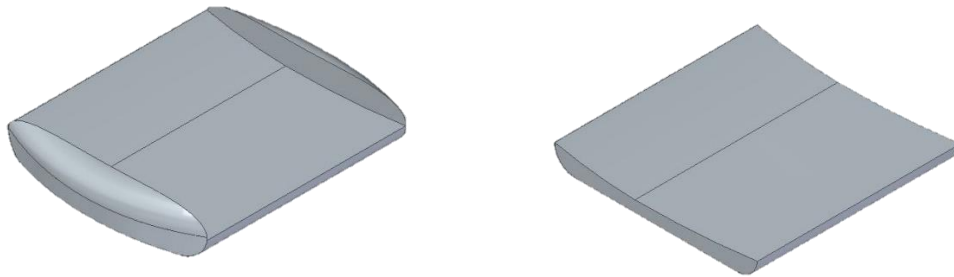


Figura 44: Mejora del diseño del calcetín.  
Fuente: Elaboración propia

En el primer diseño se pretendía que el calcetín envolviera la pata y que la unión se hiciera con calor, ya que se pensaba que, al ser de goma, se uniría mejor. Se ha decidido finalmente simplificar la forma y que la unión se haga con un pegamento especial para este tipo de piezas.

### 6.4.8 AJUSTAR LA POSICIÓN DEL CALCETÍN



Figura 45: Ángulo del calcetín en contacto con el suelo.  
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, en la primera figura el ángulo del calcetín está inclinado unos 10°, cosa que es errónea ya que no puede haber ningún ángulo. Se ha corregido cambiando el calcetín de lugar colocándolo en el extremo de la pata.

### 6.4.9 MEJORA DE SUJECIÓN

Para mejorar la sujeción de la prótesis se ha optado por añadir unas correas de nylon en la zona superior de la pierna del perro.

La idea es que estas correas de nylon se fijen de tal forma que el perro las note y que, a la vez, sujeten bien la prótesis.

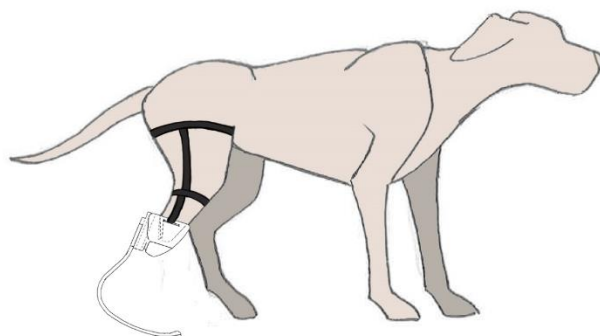


Figura 46: Sujeciones de la correa.  
Fuente: Elaboración propia

Esta es la combinación de la posición de la correa que se ha concluido, ya que recorre toda la pata y no molesta al animal.

Para el interior se ha optado por poner una hebilla para que se pueda adaptar a la anchura de la pata de cada perro.



Figura 47: Sujeción añadida.  
Fuente: Elaboración propia

En el primer diseño, faltó poner las entradas para las sujeciones. Se ha optado por poner unas entradas de 30x5mm para que todas las sujeciones estándar puedan pasar.

## 6.5 ESTUDIO ERGONÓMICO DE LA PRÓTESIS

En el estudio ergonómico concretaremos el diseño de la forma y la posición de la prótesis para que se asemeje lo máximo posible a la anatomía del perro. A parte, también vemos necesario el estudio ergonómico de la unión de la prótesis con la superficie amputada del animal.

### 6.5.1 JUSTIFICCIÓN DE FORMA

Las extremidades traseras del perro tienen una forma y dimensiones determinadas. La intención del trabajo es que el animal note lo mínimo la diferencia entre su extremidad natural y la prótesis.

Por ello, hacer un estudio de la forma de la extremidad trasera e intentar que sea lo más parecida a la que se está diseñando es un factor importante para tener en cuenta. Además, creemos que si se diseña una prótesis que sea lo más parecida a la que ha perdido el animal, los dueños de la mascota que son los que la van a comprar, al fin y al cabo, estarán más predispuestos a comprarlo.

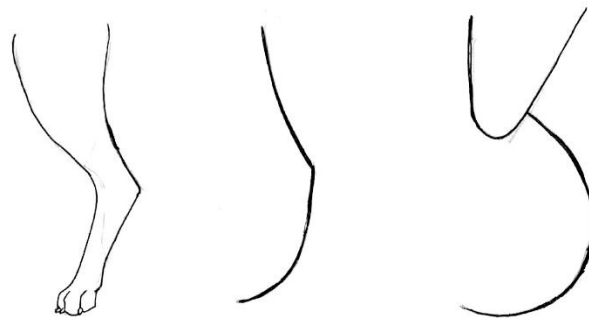


Figura 48: Primer boceto de la forma de la prótesis.  
Fuente: Elaboración propia

Empezamos con una aproximación con la forma de la pata del perro junto a la prótesis que se quiere diseñar basada en los corredores paralímpicos.

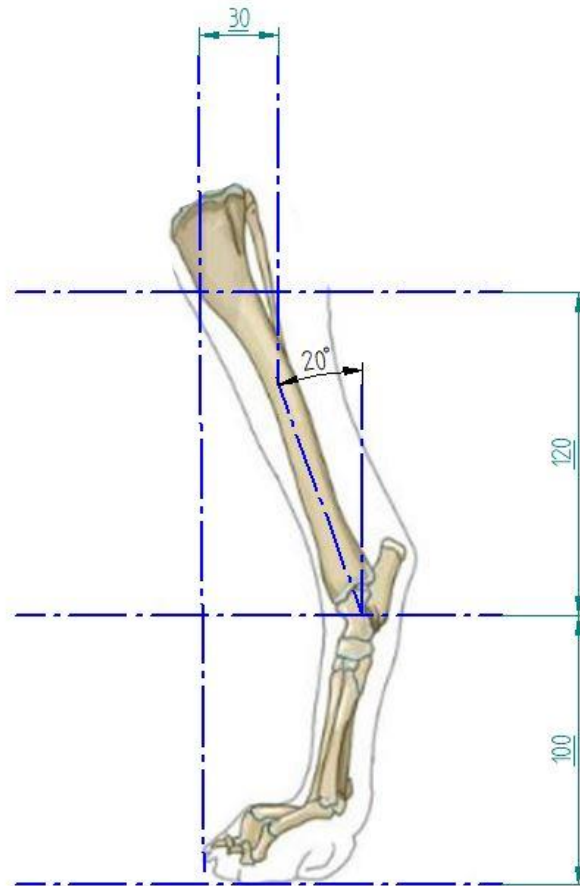


Figura 49: Proporciones de la pata de perro.  
Fuente: Elaboración propia

Se hacen unos cortes a la altura donde podría tener la amputación en la pata trasera aproximadamente, la altura de la articulación y el final de la pata. En el eje horizontal se toma la medida de la anotación con el final de la pata también. Por último, se ha establecido el ángulo que deberá tener la prótesis.

- Extremidad del perro
  - Distancia desde la amputación a la rodilla – 120mm
  - Distancia desde la rodilla al suelo – 100mm
  - Ángulo de la tibia – 20°

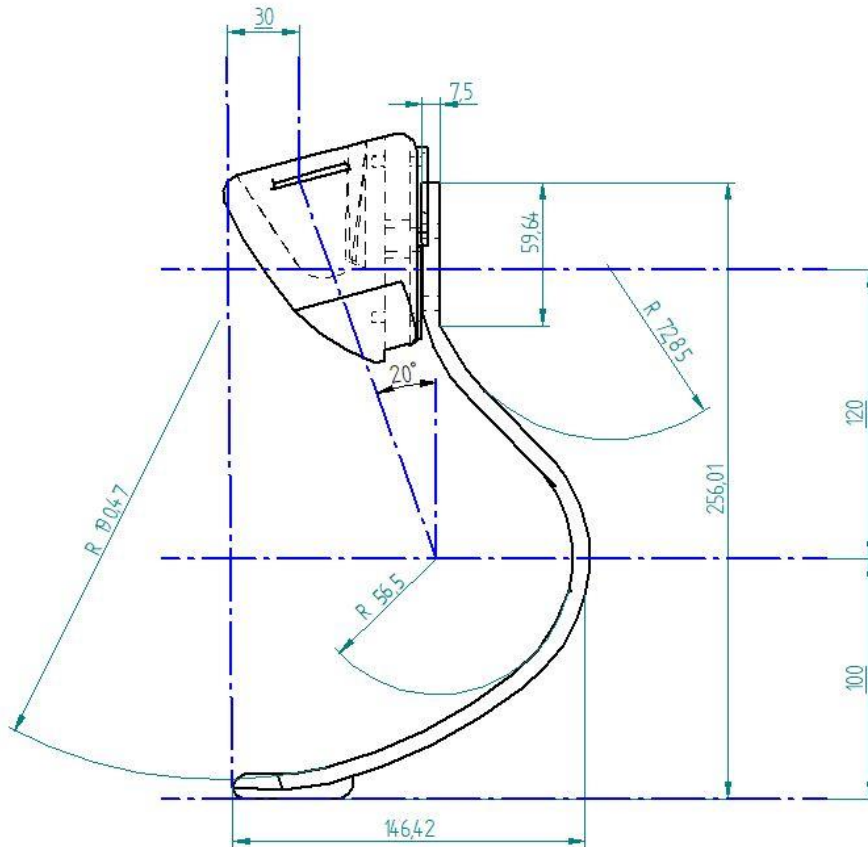


Figura 50: Proporciones de la prótesis.  
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, las proporciones de la pata del perro coinciden con las de la prótesis, incluyendo el ángulo que va hasta el centro de la circunferencia. Esta forma de la circunferencia es así para facilitar la flexión de la prótesis. El espesor es de 7,5mm que se cree que será suficiente para resistir las fuerzas (en el apartado de cálculos se terminará de confirmar). El resto de formas curvas es para suavizar los giros y absorberlos mejor.

El único problema ha sido que el ángulo va variando según la posición de la pata. Esto significa que, dependiendo de la regulación de la prótesis, la eficiencia de la prótesis irá variando.

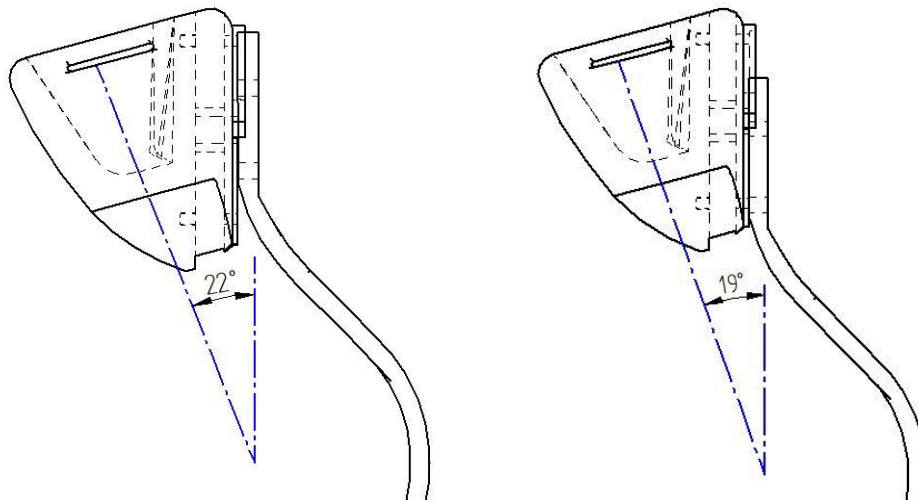


Figura 51: Variaciones de ángulos según la posición de la carcasa.  
Fuente: Elaboración propia

Por ello, se ha decidido cambiar la forma de la carcasa y de la pata para que independientemente de la posición siempre esté a  $20^\circ$ .

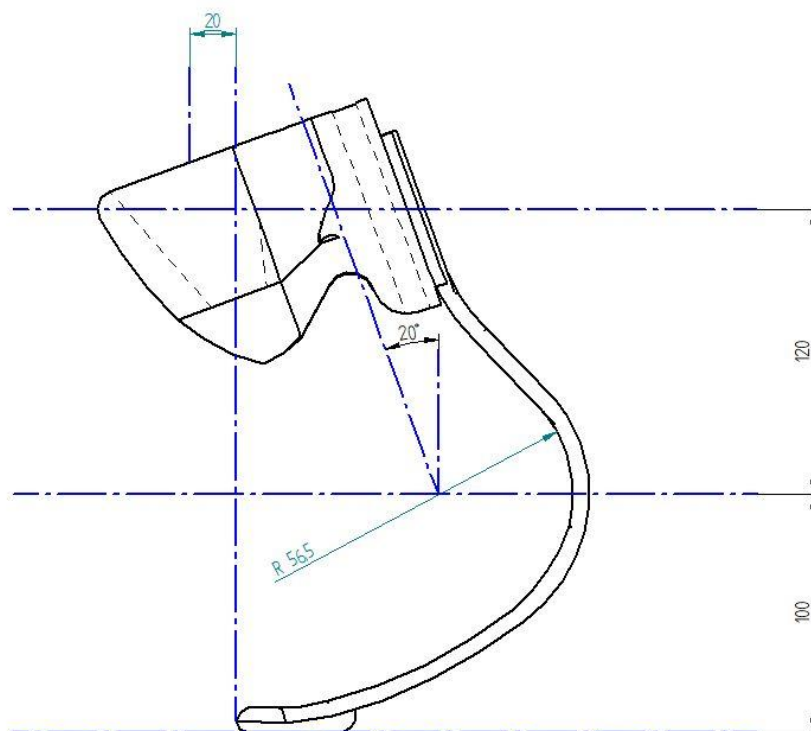


Figura 52: Modificación de ángulos.  
Fuente: Elaboración propia

En este nuevo rediseño se ha conseguido corregir el error y esté donde esté la posición de la carcasa, siempre estará a  $20^\circ$  y se ha suavizado la curva de la parte de arriba de la pata.

El nuevo inconveniente es la variación de 50 mm en el centro de la carcasa respecto a

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

la punta de la pata en el eje de las X respecto a la de un perro, descuadrando completamente la posición natural de su pata. Esto conlleva que la entrada de la carcasa esté también descentrada al eje del ángulo.

Por último, la cantidad de material ha incrementado haciendo la impresión 3D más cara.

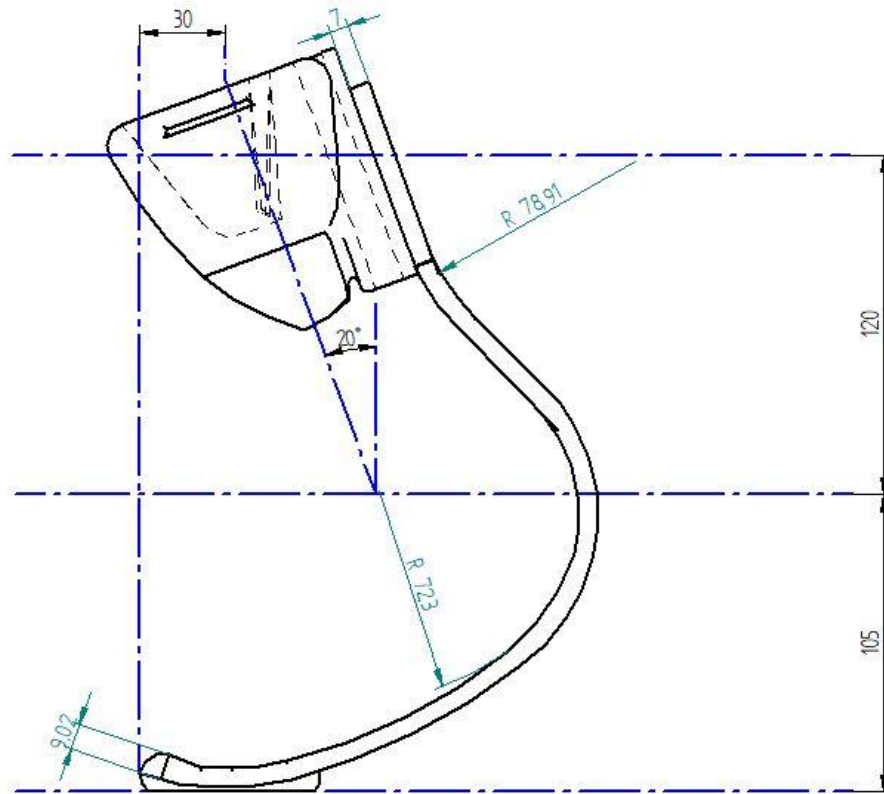


Figura 53: Modificación de la carcasa.  
Fuente: Elaboración propia

En esta corrección se ha cambiado el radio de la curvatura de la pata para ajustar el eje de la entrada de la carcasa, se ha alargado el final para ajustar a 30mm el eje X y se ha aumentado el grosor para que sea más robusto. También se ha reducido material de la carcasa.



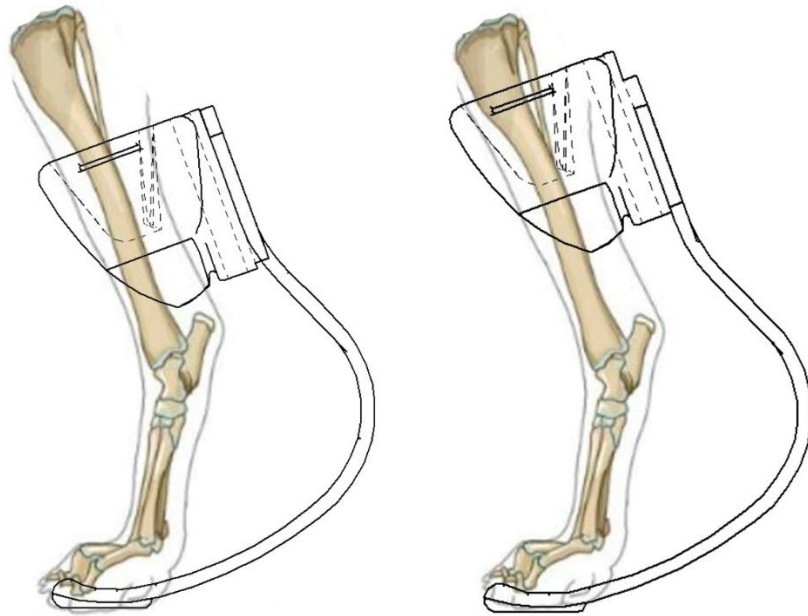


Figura 54: Representación de la solución.  
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la carcasa sigue el mismo ángulo de la pata independientemente de la posición de la carcasa.

## 6.6 DISEÑO FINAL

Debido a este reajuste de ángulos y de posiciones de algunas piezas, ha habido otras que se han tenido que modificar también. Estas han sido las dos tapas de la carcasa y la tapa de la pata.



Figura 55: Vistas del diseño final.  
Fuente: Elaboración propia

## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Los planos 2D de cada pieza y el conjunto estarán en el apartado de anexos para tener una visión más detallada.

Una vez acabado el diseño final se le añadirán colores que suelen tener los animales.



Figura 56: Combinaciones de colores.  
Fuente: Elaboración propia

### 6.6.1 CONTEXTUALIZACIÓN

La intención de poder cambiar los colores de las piezas es para que la prótesis se pueda integrar al perro y que parezca una extremidad más.



Figura 57: Contextualización de la prótesis con perros de tamaño y colores de pelo diferentes.  
Fuente: Elaboración propia

## 6.7 ADAPTACIÓN DE LA PRÓTESIS A PARTIR DEL ESCANEADO DE LA EXTREMIDAD AFECTADA

El proceso de fabricación de esta parte pasará por una fase digital, primeramente, donde se realizarán una serie de acciones antes de la fabricación final.

- 1- Se realizará un escáner 3D de la zona amputada con un dispositivo de escaneo.

Este puede ser el SCANTECH Serie iReal 2E y2S, que se caracteriza por tener una capacidad de captura de texturas en Super-HD de alta precisión, nivel de detalle y a color con 24 bits de reproducción. Cuenta con modos de alineación inteligentes. Es portátil, rápido y sencillo de utilizar. Soporta impresión 3D.



Figura 58: escáner SCANTECH.  
Fuente: [www.grupoabstract.com](http://www.grupoabstract.com)

Otra alternativa podría ser 3DS Sense, un escáner personal que captura objetos grandes y pequeños, con un versátil escaneado, configuraciones auto optimizadas para objetos grandes o pequeños (en nuestro caso serán más bien pequeños). Se puede editar fácilmente con herramientas rápidas de recorte, mejorado y solidificación. Prepara los archivos 3D en pocos minutos.



Figura 59: escáner 3DS Sense.  
Fuente: [www.grupoabstract.com](http://www.grupoabstract.com)

- 2- Para escanear una superficie, deberemos tener instalado un programa para que vaya reconociendo lo que estemos capturando y lo modele. Para ello, si utilizamos el escáner 3DS Sense, con él viene un programa llamado 3D Systems Sense que lo realiza. En este programa podemos borrar zonas que no hayan salido bien o recortar para acotar el escaneo. También tenemos la opción de solidificar para rellenar espacios que no se han escaneado.

## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Una vez tenemos nuestro escaneo ya terminado, este programa nos lo va generar como archivo .obj.

- 3- Una vez tenemos el archivo, hay que abrirlo con Autodesk Meshmixer, un software libre de diseño 3D orientado a diseños sólidos 3D haciendo uso de mallas triangulares. Este software nos permite trabajar con el escaneo eliminando imperfecciones más detalladamente y cambiar un poco la forma. Una vez acabado el archivo saldrá como .stl.
- 4- Cuando este archivo esté acabado se juntará al resto de la prótesis con dimensiones estandarizadas en el software Fusión 360, que trabaja en la nube y permite trabajar con proyectos 3D complejos.
- 5- Para extraer los planos a partir del modelado 3D, utilizaremos Siemens Solid Edge ST10, un programa de diseño asistido por ordenador. Hay que añadir que aparte de extraer los planos también crearemos desde 0 el resto de la prótesis con este programa.
- 6- Para saber cómo quedará la prótesis con exactitud utilizaremos Keyshot, un software unido a Solid Edge creado para renderizar los modelos en 3D con una alta calidad de imagen con un trabajo sencillo. Una vez acabado se le podrá enseñar al cliente el producto con el escáner realizado y se podrá personalizar con los colores que el cliente desee. De este proceso se podrán extraer archivos .jpeg o .png.

Una vez tengamos el escáner se deberá utilizar Ultimaker Cura, una aplicación para poder imprimirlo en cualquier impresora 3D y está encargado de crear las capas de impresión de sólido deseado a partir de los parámetros de impresión que hayamos introducido. Por defecto, el programa imprime en escala 1:1, que nos va bien para lo que queremos hacer.

Si pasamos al tema de la impresora 3D, la mejor opción es Original Prusa I3 MK3S, considerada una de las mejores del mercado. Las características que se necesitan para imprimir la prótesis y que cumple son:

- Una muy buena precisión a la hora de imprimir gracias a sensores y componentes complejos.
- Un gran volumen de impresión –  $11.025\text{cm}^3$  (25 x 21 x 21 cm).
- Capacidad de imprimir múltiples materiales.



Figura 60: Impresora Original Prusa I3 MK3S.  
Fuente: shop.prusa3d.com

## 6.8 DIMENSIONADO DE LA PROPUESTA

Como hemos podido observar en el apartado 4.2 *Anatomía Canina* hay una variedad muy grande de razas de perros. Esto conlleva que hay unas alturas de perros diferentes y también de tamaños de patas.

Por ello, la opción que creemos más sensata será la de crear unas tablas de medidas donde se puedan combinar diferentes tamaños de prótesis para prácticamente cualquier perro. Los componentes que variarán de tamaño serán la pata y la profundidad y el diámetro de la carcasa.

	Pequeños	Medianos	Grandes	Gigantes
Altura de Pata (mm)	100	150	190	230
Diámetro (mm)	A	B	C	
Profundidad (mm)	1	2	3	

Tabla 10: Dimensiones que puede tener el producto.  
Fuente: Elaboración propia

El objetivo de la elaboración de estas tablas es la posibilidad de poder adaptar lo mejor posible la prótesis al animal sin tener que crear piezas únicamente para un perro, sino que se puedan combinar estas medidas y ahorrar trabajo al que las monta.

### 6.8.1 ALTURA DE LA PATA

La estructura de la pata variará en dos componentes: la altura y la anchura. Para saber cuál es la que se necesita solo se tendrá en cuenta la altura y, partir de esta, irá acompañada la anchura. La anchura de la pata varía ya que, dependiendo del tamaño del perro, esta variará también.

A continuación, se mostrarán unas medidas que irán en concordancia a una tabla de medidas de las patas de perro.

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
 Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Tamaño	Longitud, cm	Ancho, cm	Raza
0	3	2.5	Perros miniatura, Pincher miniatura, Chihuahua
1	3.5	2.8	Yorkshire Terrier, Bichón maltés, Shih tzu, Papillon
2	4	3	Perro salchicha, Silky terrier australiano, Bichón maltés, Shih tzu
3	4.5	3.5	Boston terrier, Pekinés, Carlino
4	5	4	Bulldog francés, Cocker spaniel
5	5.5	4.5	Galgo inglés, Collie
6	6	5	Golden retriever, Dóberman, Bóxer
7	6.5	6	Perro de San Huberto, Rottweiler, Samoyedo
8	7	6.5	Boyero de Berna, Mastín

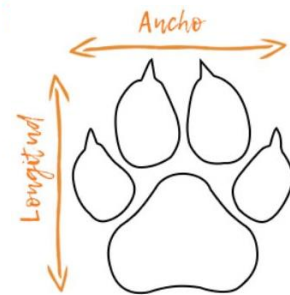


Tabla 11: Tamaños de la pata del perro (Longitud y ancho).  
 Fuente: www.zoobio.es

La tabla que hemos hallado nos ofrece ocho tamaños de patas diferentes, pero como nosotros solo vamos a hacer 4 modelos, se han escogido el tamaño 2, 4, 6 y 7. Una vez analizada la tabla se pueden crear los modelos definitivos con la altura y la anchura adecuada para que se adapte mejor al animal.

- Perros pequeños – Altura 100mm / Ancho 30mm
- Perros medianos – Altura 150mm / Ancho 40mm
- Perros grandes – Altura 190mm / Ancho 50mm
- Perros gigantes – Altura 230mm / Ancho 60mm

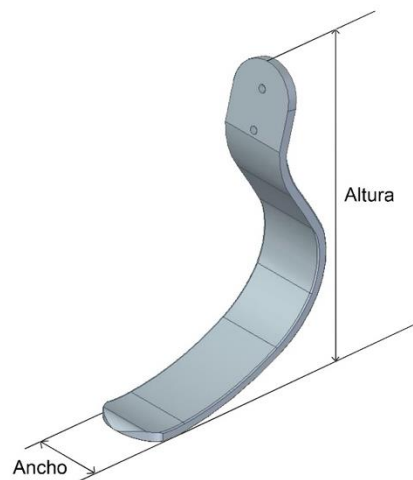


Figura 61: Modelo de pata con altura y ancho.  
 Fuente: Elaboración propia

## 6.8.2 DIÁMETRO DE LA CARCASA

El diámetro de la carcasa también variará, como en el apartado anterior, según el tamaño del perro, ya que el diámetro de la pata va variando dependiendo de su tamaño. Pero en este caso, no habrá cuatro escalas, sino tres, debido a que la variación de tamaños no es tan grande como la de la pata.

Los dos parámetros que tendremos en cuenta para estas variables serán el radio y el ancho. Las demás medidas variarán respecto a estos dos parámetros.

- Modelo A – Radio 25mm / Ancho 8mm
- Modelo B – Radio 30mm / Ancho 10mm
- Modelo C – Radio 35mm / Ancho 12mm
- 

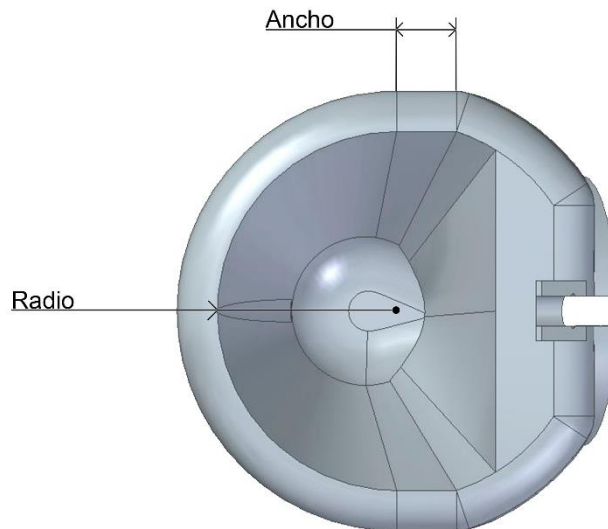


Figura 62: Modelo de carcasa con radio y ancho.

## 6.8.3 PROFUNDIDAD DE LA ENTRADA DE LA PRÓTESIS

Al contrario de los apartados anteriores, la profundidad en la entrada de la prótesis variará en base a la lesión que haya tenido y a qué altura de la pata haya sido la amputación.

Esta variante tendrá tres modelos, y se complementará con el molde 3D de la pata, ya que en esa pieza también se podrá variar la altura.

- Modelo 1 – Profundidad 50mm
- Modelo 2 – Profundidad 75mm
- Modelo 3 – Profundidad 100mm

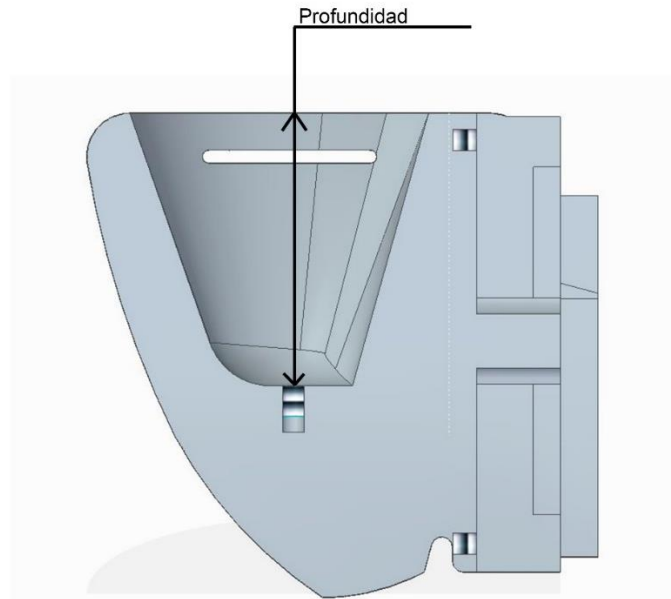


Figura 63: Modelo de carcasa con profundidad.  
Fuente: Elaboración propia

## 6.9 DEFINICIÓN DE COMPONENTES

Los componentes que se han seleccionado para el producto final se ha procurado que sean lo más simples y mínimos posibles. Esto se debe a que mientras más componentes o piezas complejas tenga la prótesis, es más fácil que se pueda romper.

Por otro lado, queremos que el usuario que se encargue del mantenimiento o limpieza de la prótesis haga el mínimo esfuerzo y que no haya la posibilidad de que se equivoque en el momento de montar la prótesis.

Por estas razones, las piezas se pueden separar en tres grupos que a continuación analizaremos.

### 6.9.1 PARTE INTERNA

La parte interna principalmente está compuesta por la pieza que hemos creado en la impresora 3D que en el estudio ergonómico se ha explicado. Este componente se encarga de unir la parte amputada con la prótesis.



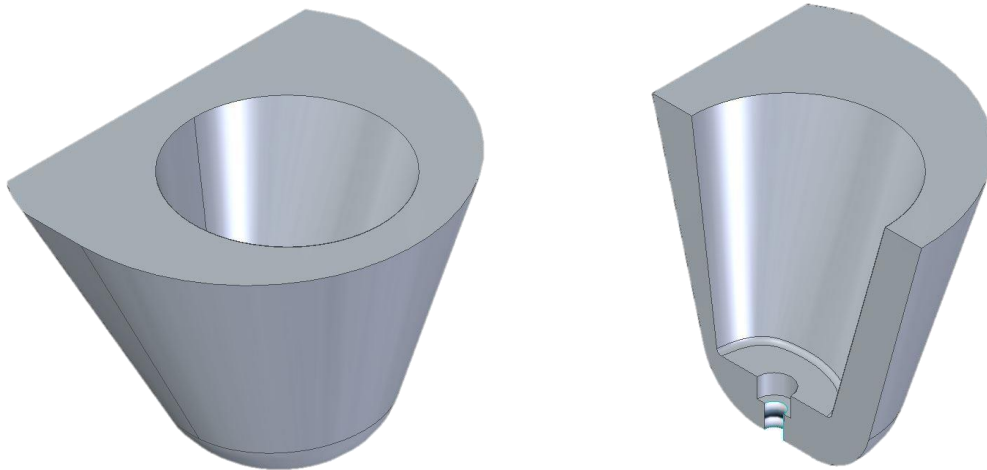


Figura 64: Modelo del escaneado 3D con un corte para ver el interior.  
Fuente: Elaboración propia

Este componente estará unido, a la vez, con la parte externa mediante un tornillo que irá variando su longitud según el tipo de prótesis.

### 6.9.2 PARTE EXTERNA

La parte externa es una carcasa donde va introducida la parte interna. Este componente se encarga de proteger la extremidad amputada de golpes, tendrá anclajes en los laterales para colocar sujeciones externas que rodearán el cuerpo del animal, y también tendrá integrada la guía para regular la altura.

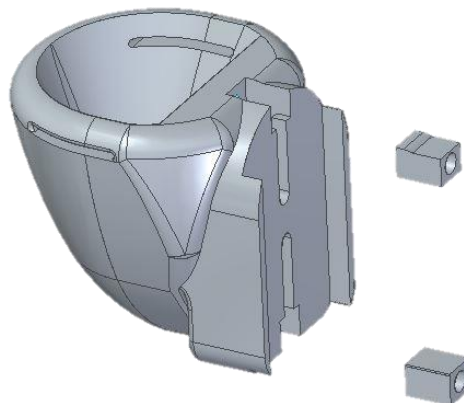


Figura 65: Conjunto de piezas de la carcasa.  
Fuente: Elaboración propia

La carcasa estará compuesta por tres piezas: la carcasa en sí y dos tapas que irán en cada extremo de la guía para que no entre suciedad en ella y que las tuercas y arandelas no se salgan si los tornillos se sueltan.

### 6.9.3 PARTE QUE REALIZA EL MOVIMIENTO

Este conjunto de piezas son las que se encargan de absorber la fuerza que realiza el perro al andar o correr. Esta fuerza elástica es la que ayuda a impulsar al perro y se asemeja a la que haría su pata normal.

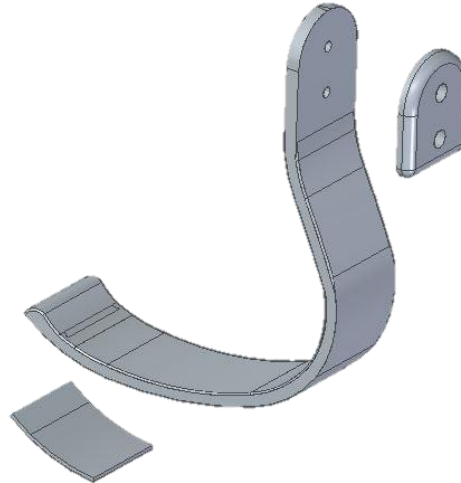


Figura 66: Conjunto de piezas de la pata.  
Fuente: Elaboración propia

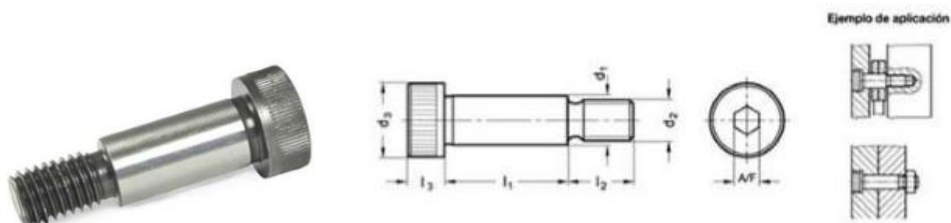
Este conjunto está formado por la pata en sí, una tapa que protege da más recorrido a la unión y hace que no ocupe tanto recorrido en la carcasa, y un calcetín que actúa como aislante de la pata para que el perro tenga más fricción.

### 6.9.4 UNIONES

Las uniones de los componentes se harán a partir de tornillos, tuercas y arandelas, menos en la unión del calcetín y la pata que ya explicaremos en el apartado 6.10.4. *Material del calcetín.*

Los tornillos tienen una calidad 8. 8, que significa que tienen una dureza (resistencia de tensión) de 800 MPa, y una tenacidad (resistencia de tensión) del 80 %.

- La unión de la pata con la carcasa se hará con dos tornillos guías ISO 7379 M6.

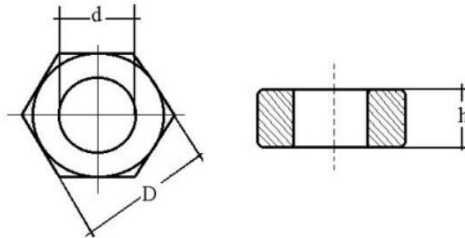


Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

	d1 t9	d2	l1 +0.25	d3	l2	l3	A/F	
Código								
ISO 7379-6-M5-70	6	M 5	65	10	9.5	4.5	3	18
ISO 7379-6-M5-80	6	M 5	70	10	9.5	4.5	3	19
ISO 7379-6-M5-80	6	M 5	80	10	9.5	4.5	3	21
ISO 7379-8-M6-16	8	M 6	16	13	10	5.5	4	14
ISO 7379-8-M6-20	8	M 6	20	13	10	5.5	4	15
ISO 7379-8-M6-25	8	M 6	25	13	10	5.5	4	16

Tabla 12: Medidas del tornillo guía.  
Fuente: [www.elesa-danter.es](http://www.elesa-danter.es)

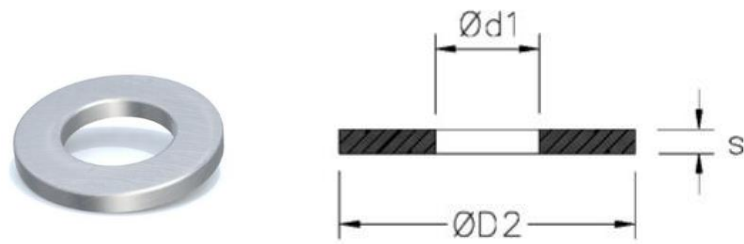
- Estos tornillos utilizarán tuercas DIN-934 M6 y arandelas DIN-125 M6 para asegurar el anclaje de la pata a la carcasa.



d (diámetro caña)	D (diámetro cabeza)	h (altura cabeza)
M-3	5,50	2,40
M-4	7,00	3,20
M-5	8,00	4,00
M-6	10,00	5,00
M-7	11,00	5,50
M-8	13,00	6,50
M-10	17,00	8,00
M-12	19,00	10,00

Tabla 13: Medidas de la tuerca.  
Fuente: [www.tornilleriareche.com](http://www.tornilleriareche.com)

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

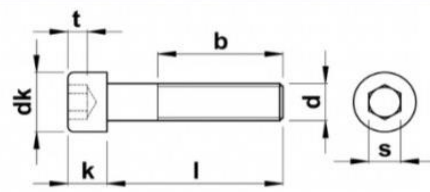


Código	Artículo	Ø d1 (mm)	ØD2 (mm)	s (mm)
22100045	M4	4.3 - 4.48	8.64 - 9	0.8 ± 0.1
22100067	M6	6.4 - 6.62	11.57 - 12	1.6 ± 0.2
22100089	M8	8.4 - 8.62	15.57 - 16	1.6 ± 0.2
22100100	M10	10.5 - 10.77	19.48 - 20	2 ± 0.2
22100122	M12	13 - 13.27	23.48 - 24	2.5 ± 0.2
22100166	M16	17 - 17.27	29.48 - 30	3 ± 0.3
22100201	M20	21 - 21.33	36.38 - 37	3 ± 0.3

Tabla 14: Medidas de la arandela.  
Fuente: desa.es/

- Para unir las tapas a la carcasa y el adaptador a la carcasa se utilizarán dos tornillos M4 Allen cabeza cilíndrica DIN-912.

d	Métrica del tornillo
dk	Diámetro de la cabeza
k	Altura de la cabeza
t	Profundidad de boca
s	Distancia entre caras (llave)
b	Longitud roscada
l	Longitud seleccionada (sin cabeza)



Cotas en milímetros (mm)

	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
d										
dk	3	3,8	5,5	7	7	8,5	10	13	16	18
k	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12
t	0,7	1	1,1	1,3	2	2,5	3	4	5	6
b	15	16	17	18	20	22	24	28	32	36
s	1,5	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10
paso	0,35	0,4	0,45	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75

Tabla 15: Medidas de la arandela.  
Fuente: entaban.es

## 6.10 SELECCIÓN DE MATERIALES

Para la elección de los materiales de nuestra prótesis se hará un estudio donde se tendrán en cuentas diferentes puntos que debe cumplir, por tal de cubrir las necesidades básicas del producto. Estas son:

- Soportar el peso del perro cuando está de pie o haciendo algún ejercicio.
- Resistente a los golpes.
- Coste económico.
- Adecuado para la impresión 3D.
- Que cumpla propiedades mecánicas en algunas piezas.

Para la selección de determinados materiales vamos a utilizar el programa CES EduPack, un software de materiales que proporciona una base de datos integral de información sobre los materiales y procesos.

### 6.10.1 MATERIAL DE LA PIEZA ESCANEADA EN 3D

De todos los materiales que una impresora 3D puede imprimir, se ha decidido que el mejor material sería el elastómero termoplástico o TPE, que combina el termoplástico y elastómero ofreciendo unas propiedades idóneas para lo que queremos imprimir.

Las ventajas que más interesan son:

- Amortiguación que ofrece a los impactos, que ayudará a suavizar los impactos que reciba cuando el perro camine o realice alguna actividad.
- Gran resistencia a rotura por fatiga, que nos garantiza la durabilidad del material ya que tendrá que soportar fatiga cuando el animal lleve puesta la prótesis.
- Capacidad de estiramientos moderados y la recuperación de su forma, dará un margen de error a escaneado 3D por si no es exacto y el material se podrá moldear a la forma de la pata.
- Material reciclable.
- Material muy suave, que proporcionará comodidad al animal y que se adapte mejor a la prótesis.

Las desventajas que tiene no afectaran a lo que esta se quiere hacer. Estas son poca resistencia a los agentes químicos y al calor, pérdida de elasticidad si se funden a temperaturas por encima de las establecidos y pérdida de elasticidad conforme el uso.

El tipo de TPE ideal será el 55 SHORE-A, pero no hay filamentos para la impresora 3D. Por ello, la mejor opción es Flex X-920 Sakata 3D, muy recomendado para aplicaciones que requieran una alta capacidad de absorción de impactos.



Figura 67: Rollo de filamentos Flex X-920 Sakata 3D.  
Fuente: [www.impresoras3d.com](http://www.impresoras3d.com)

## 6.10.2 MATERIAL DE LA CARCASA

Para encontrar un material que asegure el funcionamiento de la carcasa se harán dos estudios. El primero es buscar un material que tenga un coste bajo, y tenga una cierta resistencia a la tracción, ya que es una pieza que sufre mucho este tipo de fuerzas. También se tendrá en cuenta que el material se pueda utilizar para hacer una impresión en 3D.

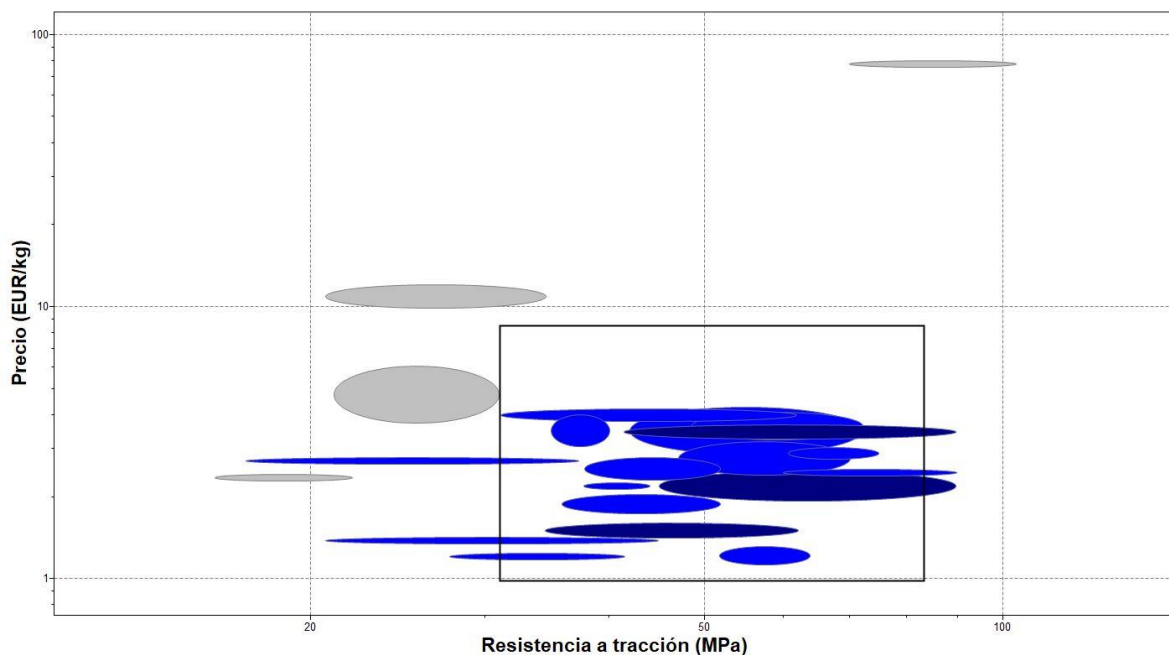


Figura 68: Gráfico que tiene en cuenta el precio del material y la resistencia a la tracción.  
Fuente: CES EduPack

De los materiales encontrados con los parámetros requeridos solo se pueden imprimir en 3D el tereftalato de polietileno (PET), el poliácido láctico (PLA) y el termoplástico de Acrilonitrilo (ABS). Para acabar de elegir el material se nombrarán algunas características que puedan interesar y se compararán.

- Las ventajas del Tereftalato de Polietileno (PET) son su alta resistencia al desgaste y corrosión, resistente a impactos, impermeable, baja absorción de humedad y alta capacidad de mecanizado. Sus desventajas es su leve toxicidad y no es biodegradable.

- La ventaja del Poliláctico (PLA) son la obtención de recursos renovables, reciclable y que se imprime rápidamente. Sus desventajas son la poca resistencia térmica, poca resistencia mecánica y sensible a la humedad.
- Las ventajas del Termoplástico de Acrilonitrilo (ABS) son la conservación de la tenacidad a temperaturas extremas, su alta capacidad de mecanizado y su alta resistencia a los impactos. Su mayor desventaja es la necesidad de tener experiencia para poder imprimir este tipo de material.

Una vez teniendo las características que más interesan de cada material el material escogido será el Termoplástico de Acrilonitrilo (ABS) por sus buenas propiedades mecánicas y su alta capacidad de mecanizado. Otro posible material sería el Tereftalato de Polietileno (PET) que también tiene buenas propiedades para lo que se quiere diseñar, pero no tan buenas.



Figura 69: Ejemplo de pieza impresa con Termoplástico de Acrilonitrilo (ABS).  
 Fuente: 3dlink.me

A continuación, se mostrará una tabla con el resto de las propiedades del material escogido.

Densidad	1,03e3 – 1,06e3 Kg/m <sup>3</sup>
Precio	2,31 – 2,78 EUR/kg
Módulo de Young	2,08 – 2,75 GPa
Módulo de cortante	0,743 – 0,983 GPa
Módulo de volumen	3,85 – 4,01 GPa
Resistencia a la tracción	37,8 – 51,8 MPa
Resistencia a compresión	39,3 – 86 MPa
¿Conductor térmico o aislante?	Buen aislante
¿Conductor eléctrico o aislante?	Buen aislante
Mecanizabilidad	3 – 4
Reciclaje	Sí

Tabla 16: Propiedades del Termoplástico de Acrilonitrilo (ABS).  
 Fuente: Extracción de CES EduPack

El filamento escogido para este material ha sido el de la marca Gembird, que cumple las características que se buscan.



Figura 70: Filamento ABS de la marca Gembird.  
Fuente: Extracción de CES EduPack

### 6.10.3 MATERIAL DE LA PATA

Para el material de la pata, se podría hacer una búsqueda de diferentes metales, polímeros y materiales compuestos. Pero como la intención es poder imprimirlo en una impresora 3D solo se han encontrado dos materiales que lo puedan hacer, la fibra de carbono o el nailon. El problema que surge es que no se puede elegir el material porque en este apartado ya que debemos primero hacer los cálculos de fuerza para saber si el material aguanta. Por ello se hará una pequeña descripción de los dos materiales junto a sus tablas y en el apartado de cálculos de acabará de decidir.

- La fibra de carbono ofrece una rigidez y una resistencia mejor que cualquier alternativa, pero es un material caro. Las fibras continuas en una matriz de poliéster o epoxi ofrecen un mayor rendimiento. Las fibras soportan las cargas mecánicas y el material de la matriz transmite la carga a las fibras. Esto proporciona ductilidad, tenacidad y además protege las fibras causadas por golpes.



Figura71: Ejemplo de pieza imprimida con Termoplástico de Acrilonitrilo (ABS).  
Fuente: 3dlink.me

Densidad	1,5e3 – 1,6e3 Kg/m <sup>3</sup>
Precio	29,7 – 32,9 EUR/kg
Módulo de Young	69 – 150 GPa

Tabla 17: Propiedades de la fibra de carbono.  
Fuente: Extracción de CES EduPack



Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Módulo de cortante	28 – 60 GPa
Módulo de volumen	43 – 80 GPa
Resistencia a la tracción	550 – 1,05e3 MPa
Resistencia a compresión	440 – 840 MPa
¿Conductor térmico o aislante?	Mal aislante
¿Conductor eléctrico o aislante?	Mal conductor
Mecanizabilidad	1 – 3
Reciclaje	No

- El nylon es un polímero sintético que pertenece al grupo de las poliamidas. En la fabricación las fibras de nylon se someten a extrusión, texturizado e hilado en frío hasta alcanzar cerca de 4 veces su longitud original, lo cual aumenta su cristalinidad y resistencia a la tracción. En general este material es muy flexible y, por ellos, se le puede añadir capas de fibras de vidrio para añadir rigidez.

Densidad	1,12e3 – 1,15e3 Kg/m <sup>3</sup>
Precio	2,89 – 4,26 EUR/kg
Módulo de Young	0,94 – 2,04 GPa
Módulo de cortante	0,38 – 0,67 GPa
Módulo de volumen	1,2 – 3,26 GPa
Resistencia a la tracción	42 – 72 MPa
Resistencia a compresión	46 – 82 MPa
¿Conductor térmico o aislante?	Buen aislante
¿Conductor eléctrico o aislante?	Buen aislante
Mecanizabilidad	3 – 4
Reciclaje	Sí

Tabla 18: Propiedades del nylon.  
Fuente: Extracción de CES EduPack

Finalmente se ha encontrado un material llamado Fiberlogy Nylon PA12+CF15 que contiene unos filamentos reforzados con fibra de carbono, proporcionando una alta resistencia a la tracción, alta rigidez y alta resistencia térmica.



Figura 72: Rollo de filamentos Fiberlogy Nylon PA12+CF15.  
Fuente: [www.3djake.es](http://www.3djake.es)

Al ser un material con una combinación de nylon y fibra de carbono sus propiedades son una combinación de los dos.

Mechanical Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Tensile modulus	ISO 527	MPa	8000
Tensile strength at break	ISO 527	MPa	125
Charpy - Impact strength (Unnotched)	ISO 179/1eU (23°C)	kJ/M2	75 +- 15
Density	ISO 483	g/cc	1.07
<b>Thermal Properties</b>			
Melting Temperature	ISO 3146	°C	178
Temperature of Deflection under Load	ISO 75-1/2	°C	170
Flammability	UL 94	Class	HB

## 6.10

Tabla 19: Propiedades del Fiberlogy Nylon.  
Fuente: [www.3djake.es](http://www.3djake.es)

Para esta pieza se debe encontrar un material que tenga buenas propiedades mecánicas, resistencia a la abrasión y resistente temperaturas. Recordemos que esta pieza estará en contacto con el suelo y es la que dará adherencia y tracción a los movimientos del perro. También hay que tener en cuenta que hay diferentes terrenos a los que deberá someterse como puede ser la nieve o pavimentos en pleno verano.

Por ello, el material más indicado para este tipo de necesidades es el Caucho Nitrilo (NBR), un caucho sintético, compuesto por copolímero de acrilonitrilo (ACN) y butadieno.



Figura 73: Ejemplo de Caucho Nitrilo (NBR) en lámina.  
Fuente: [www.qteek.com](http://www.qteek.com)

Esta pieza deberá estar unida a la pata. Se barajaron diferentes opciones, como unión con tornillo o con calor. Pero, por un lado, ya se estaban utilizando demasiados tornillos para la prótesis y, por otro lado, no se aseguraba que la pieza se sujetara bien con calor.

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Por ello, la mejor opción ha sido utilizar un adhesivo. Se trata del adhesivo GENÉRICO Biocomponente Epoxi Araldite STANDARD 12+12 ml, especializado en este tipo de uniones.



Figura 74: adhesivo GENÉRICO Biocomponente Epoxi Araldite STANDARD 12+12 ml.  
Fuente: [www.clipcarbono.com](http://www.clipcarbono.com)

## 6.11 AMFE

El objetivo principal es analizar los posibles fallos que podría tener nuestro producto, trata de tener una mejora continua que busca la perfección dentro de la calidad del objeto, seleccionando prioritariamente las partes que tengan más importancia en la gestión de riesgos, es decir que nos puede influenciar más a la hora de diseñar el producto.

Otra peculiaridad del AMFE es tratar de reducir los plazos y aumentar la eficacia de los proyectos cuando se desarrollan nuevos productos o se mejoran, gracias a su análisis exhaustivo de todas las partes se podrá predecir los fallos potenciales, es decir, fallos que se podrían aparecer en el futuro, dentro de la fabricación u operaciones realizadas con este se identificarán y corregirán antes de tener el objeto definitivo.

Los conceptos básicos del AMFE son:

- **FALLO.** Error en el producto o proceso que impide que se lleve a cabo, de forma satisfactoria, la función esperada.
- **MODO POTENCIAL DE FALLO.** Forma en que el producto o proceso es posible que tenga un error. Los modos de fallo pueden ser mecánicos, eléctricos, químicos, térmicos, estéticos, magnéticos, neumáticos o hidráulicos.
- **EFFECTO POTENCIAL DEL FALLO.** Es la consecuencia probable del fallo.
- **CAUSA.** Es aquello que produce el error.
- **CLIENTE.** Refiriéndose a cliente externo cuando se habla de usuario final, y a cliente interno cuando se refiere al cliente en otra operación del proceso.

También hay que tener en cuenta el índice de prioridad, donde se clasifican los modos de fallo según su importancia. Para ello, a cada modo de fallo se le asignan tres valores:

- **Nivel de gravedad (G):** gravedad del fallo percibida por el usuario. (siendo el 1 la menor gravedad y el 10 la mayor).
- **Nivel de incidencia (O):** posibilidad de que ocurra el fallo. (siendo el 1 la menor probabilidad de ocurrencia, y el 10 la mayor).
- **Nivel de detección (D):** probabilidad de NO detección del error antes que el producto se use. (siendo el 1 la mayor facilidad de detección de la causa el fallo y el 10 la imposibilidad de detección de ésta).

Para este proyecto se hará un AMFE del conjunto y otro más de cada pieza que se ha diseñado

Nombre del Sistema: <b>Prótesis para perros</b>		Ingº Rpble:		Comprobado: <b>Joan Josep Aliau i Pons</b>																
Nombre del subsistema:		Fecha:		Fecha Revisión:																
Nombre de la Pieza / Código	Función de la Pieza	Modo de Fallo potencial	Efecto Potencial del Fallo	Nº	Causa Potencial del Fallo	Controles Actuales	Ocurrencia	Gravedad	Detección	N.P.R.	Acción y Estado Recomendados	Área/Ingº Responsable de la Acción Correctiva	Acción Emprendida	Ocurrencia	Gravedad	Detección	N.P.R.			
<b>Conjunto</b>	Reemplazar la pata trasera de un perro	Rotura	Pérdida de la función. Insatisfacción del cliente	1.1	Mala colocación de la prótesis al perro por parte del dueño	-	5	9	9	405	Experimentación con usuarios inexpertos	Área de diseño gráfico	Instrucciones intuitivas. Indicaciones gráficas en el producto	2	9	9	162			
				1.2	El perro vive en zonas donde el material de la prótesis no aguanta.	-	6	9	9	486	Realizar ensayos con otros materiales	I+D	Escoger un nuevo material	4	9	9	324			
				1.3	Posible impacto de gran magnitud	-	7	9	9	567	Estudio de materiales alternativos	I+D	Escoger un nuevo material más resistente	5	9	9	405			
				1.4	Posible rotura en la unión de la pata con la carcasa	-	4	9	9	324	Pruebas de diferentes tipos de fijaciones	Dept. Ingeniería	Implementación del nuevo sistema de fijación	2	9	9	162			
		Perdida de flexión de las correas	Cinta regulable difícil de ajustar a la pata del animal	2.1	Frecuencia de uso	-	7	5	10	350	Realizar ensayos de resistencia de los materiales	I+D	Escoger material que aguante el estiramiento constante	5	5	10	250			
		Desgaste del calcetín de la pata	Pérdida de adherencia	3.1	Uso constante y rozamiento	-	8	5	10	400	Realizar ensayos de resistencia de los materiales	I+D	Escoger material que aguante el rozamiento constante de la pieza	5	5	10	250			
		Decoloración	Variación estética	4.1	Entorno ambiental	-	7	2	10	140	Estudiar tipos de barniz	I+D	Recubrir con el barniz adecuado	6	2	10	120			
						-					Estudio de materiales	I+D	Escoger material que aguante la radiación solar	5	2	10	100			

Tabla 20: AMFE del conjunto (1).  
Fuente: Elaboración propia



**AMFE de DISEÑO**  
ANÁLISIS MODAL de FALLOS y sus EFECTOS

Nombre del Sistema: <b>Prótesis para perros</b>		Ingº Rpble:		Comprobado:		<b>Joan Josep Aliau i Pons</b>											
Nombre del subsistema:		Fecha:				Fecha Revisión:											
Nombre de la Pieza / Código	Función de la Pieza	Modo de Fallo potencial	Efecto Potencial del Fallo	Nº	Causa Potencial del Fallo	Controles Actuales	Ocurrencia	Gravedad	Detección	N.P.R.	Acción y Estado Recomendados	Área/Ingº Responsable de la Acción Correctiva	Acción Emprendida	Ocurrencia	Gravedad	Detección	N.P.R.
<b>Carcasa</b>	Proteger el muñón del perro	Rotura	Inutilizable	1.1	Impacto	-	8	9	10	720	Estudio de resistencia de los materiales	Dept. Ingeniería	Rediseño de las geometrías o cambio de material	6	9	10	540
			Puede desviar la pata. Pérdida de función	1.2	Impacto	-	7	8	10	560	Estudio de la forma de la guía	Dept. Ingeniería	Rediseño de las geometrías y añadir más refuerzos a los laterales de la guía	6	8	10	480
		Agrietamiento	Fallo estructural	2.1	Impacto	-	7	8	10	560	Estudio de la forma y posiciones de las piezas	Dept. Ingeniería	Rediseño de las geometrías	6	8	10	480
			Pérdida de fijación de la pata con la prótesis	2.2	Impacto	-	7	8	10	560	Estudio de resistencia	Dept. Ingeniería	Rediseño de las geometrías o añadir más uniones	5	8	10	400
		Decoloración	Alteración estética	3.1	Entorn ambiental	-	5	2	10	100	Estudio de tipos de barniz	I+D	Recubrir con barniz	3	2	10	60
											Estudio de materiales más resistentes	I+D	Cambio de material	2	2	10	40
		Rechupe	Augmento fragilidad	4.1	Grosor inadecuado	-	9	8	10	720	Estudio de geometrías	Dept. Ingeniería	Rediseño del grosor de algunas piezas	6	8	9	432
											Supervisión producción	Dept. Calidad	Controles en la producción	6	8	3	144
		Rotura de guía	Imposibilidad de regular la pata. Pérdida de función	5.1	Mal diseño de la guía	-	8	8	10	640	Estudio de geometrías y resistencia de	Dept. Ingeniería	Rediseño de geometrías	6	8	10	480
<b>Pata</b>	Realiza que movimiento	Desgaste	Pérdida de flexibilidad	6.1	Uso constante	-	9	7	10	630	Estudio de resistencia de los materiales	I+D	Añadir más material a las zonas debiles	7	7	10	490

Tabla 22: AMFE del despiece (1).  
Fuente: Elaboración propia

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Nombre del Sistema: <b>Prótesis para perros</b>		Ingº Rpble:		Comprobado:		<b>Joan Josep Aliau i Pons</b>											
Nombre del subsistema:		Fecha:		Fecha Revisión:													
Nombre de la Pieza / Código	Función de la Pieza	Modo de Fallo potencial	Efecto Potencial del Fallo	Nº	Causa Potencial del Fallo	Controles Actuales	Ocurrencia	Gravedad	Detección	N.P.R.	Acción y Estado Recomendados	Área/Ingº Responsable de la Acción Correctiva	Acción Emprendida	Ocurrencia	Gravedad	Detección	N.P.R.
				6.2	Posible impacto de gran magnitud		8	7	10	560	Estudio de materiales	I+D	Reelección de material	6	7	10	420
		Deformación	Pérdida de función	7.1	Uso constante	-	8	9	10	720	Estudi de geometries	Dept. Ingeniería	Rediseño de geometrias	7	9	10	630
		Desprendimiento	Pérdida de función	8.1	Unión inadecuada	-	6	9	9	486	Estudi de juntas	I+D	Cambio del mateial de unión	5	9	9	405
<b>Tapas de carcasa</b>	Cierran las entradas de las tuercas y las	Perdida de las piezas	Pérdida de función	9.1	Impacto	-	4	7	8	224	Posibilidad de imprimir más tapas	I+D	Poner repuestos	2	7	8	112
		Confusión en el momento de colocarlas	No cierran correctamente	10.1	Uso contante	-	8	4	9	288	Realizar pruebas para identificar las diferentes tapas	I+D	Poner una marca reconocible que indique la posición correcta	6	4	9	216
<b>Tapa pata</b>	Proteger la pata de golpes y proporciona recorrido a los tornillos	Rotura	La pata queda desprotegida	12.1	Impacto	-	6	4	9	216	Estudio de materiales	I+D	Añadir un refuerzo adicional a la pieza	3	4	9	108
			El recorrido que propocionaba desaparece	12.2	Impacto		6	8	9	432	Estudio de geometrias	I+D	Cambiar forma y mantener el recorrido aunque la pieza sufra algun daño	3	8	9	216
<b>Adaptador</b>	Unir el muñón del perro con la prótesis	Rotura	Pérdida de función	13.1	Impacte	-	5	5	9	225	Estudio los puentes debiles	Dept. Ingeniería	Reforzar las zonas débiles	3	5	9	135
		Desgaste	Pérdida de función	14.1	Uso frecuente	-	7	5	8	280	Estudio de materiales	I+D	Escoger un nuevo material	4	5	8	160
<b>Calcetín</b>	Proporcionar agarre al suelo	Desgaste	Pérdida de adherencia	15.1	Uso frecuente y rozamiento	-	7	8	8	448	Estudio de geometria	I+D	Añadirle más grosor	5	8	8	320

30/06/2020/15:14

MEDI AMFE DEFINITIVO 1 jjap.xlsx

30/06/2020/15:14

Tabla 23: AMFE del despiece (2).  
Fuente: Elaboración propia



## 7. CÁLCULOS

Si queremos que la prótesis cumpla la función de soportar el peso del perro, se deberá hacer un estudio de las fuerzas que actúan y como las soportan la pata de la prótesis. Se pondrán a prueba:

- La forma de la prótesis
- El material que se le ha atribuido

Para realizar este estudio se usará el programa Siemens NX 10, un software especializado en este tipo de estudios.

Se ha escogido estudiar la pata porque es la pieza que recibirá la mayoría de fuerzas y la que tiene una forma que puede sufrir deformaciones.

### 7.1 PUESTA EN MARCHA DE LA PATA

Antes de hacer cualquier estudio, se debe de preparar la pieza para que todo salga correctamente.

Primeramente, se ha tenido que hacer el diseño desde cero para este programa, ya que no eran compatibles las versiones con el otro programa Solid Edge.

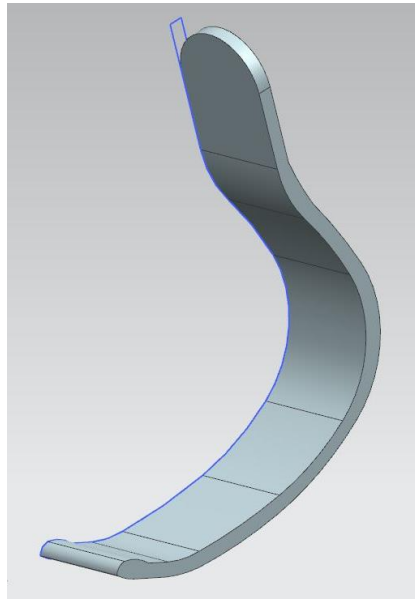


Figura 75: Diseño de la pata para NX 10.  
Fuente: Elaboración propia

Las medidas utilizadas se ha intentado que sean las mismas que en el diseño en Solid Edge. Se ha escogido estudiar la pata.

Seguidamente se realizará un mallado para poder seguir con el estudio. Se ha decidido que los nodos tengan una distancia de 2 mm entre ellos para que el resultado sea más preciso.

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

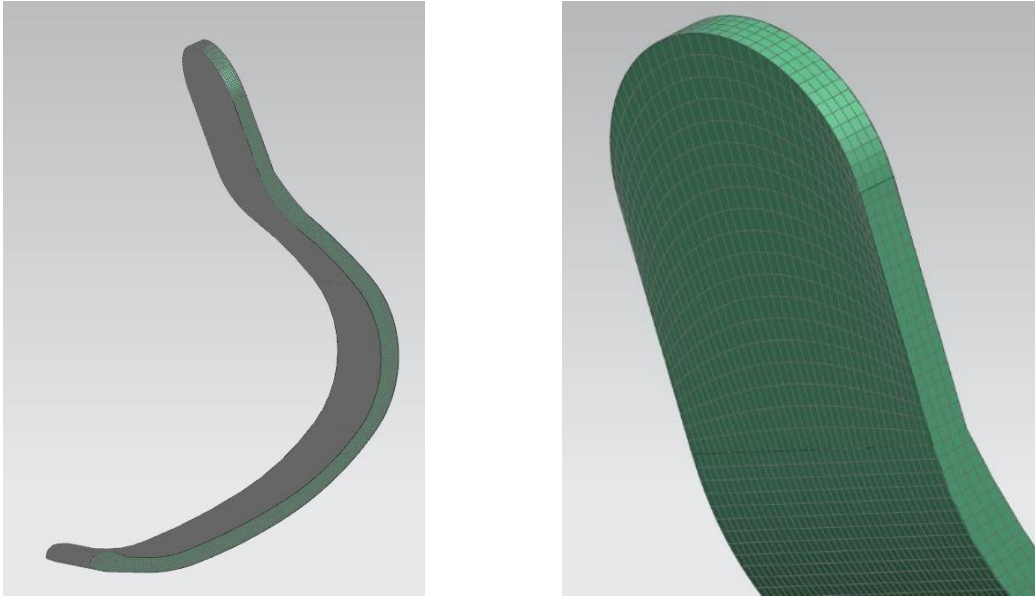


Figura 76: Mallado de la pata.  
Fuente: Elaboración propia

Una vez mallada la pieza se le añadirá el material que está en la base de datos del programa.

Aquí se han encontrado problemas, ya que el material que se le quiere asociar, Nylon PA12+CF15, no se encontraba en la base de datos y tampoco se podía añadir manualmente el material por la falta de propiedades técnicas no facilitadas por el fabricante.

Como solución, se ha decidido utilizar el material nylon que sí que está en la base de datos y después justificar los resultados con el 15% de fibra de carbono añadido.

Una vez resuelto este contratiempo se le añadirá una restricción en la parte superior de la pata que estará sujeto a la carcasa.

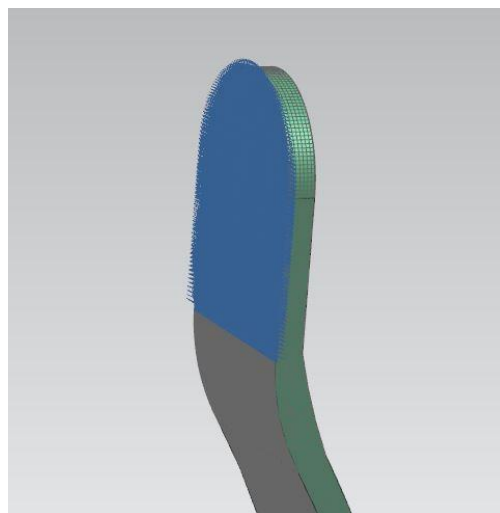


Figura 77: Restricción de la pata.  
Fuente: Elaboración propia

Por último, solo quedaría añadir dos fuerzas:

- Cuando el perro está de pie, donde la prótesis no debería de doblarse.
- Cuando el perro está en movimiento, donde si que se tolerará que la pata se flexione un poco para poderle dar impulso en la zancada.

## 7.2 FUERZAS CON EL PERRO DE PIE

Para la primera fuerza se utilizará el peso del perro descompuesto para una sola pata. Se ha escogido esta distribución de masas porque las patas delanteras de un perro reciben aproximadamente el 60% de los esfuerzos durante la marcha y las traseras el 40% restante.

Se utilizará el peso de un perro grande (Unos 35kg aproximadamente), ya que la pieza utilizada es para ese tamaño de perro.

La simplificación para realizar el análisis es la siguiente:

$$F_{tot} = m \times g$$

$$m = 35 \times 0,4 \div 2 = 7kg$$

$$g = 9,8m/s^2$$

$$F_{tot} = 7 \times 9,8 = 68,6N$$

Esta fuerza irá en la parte inferior de la pata, ya que será la zona que estará en contacto con el suelo.

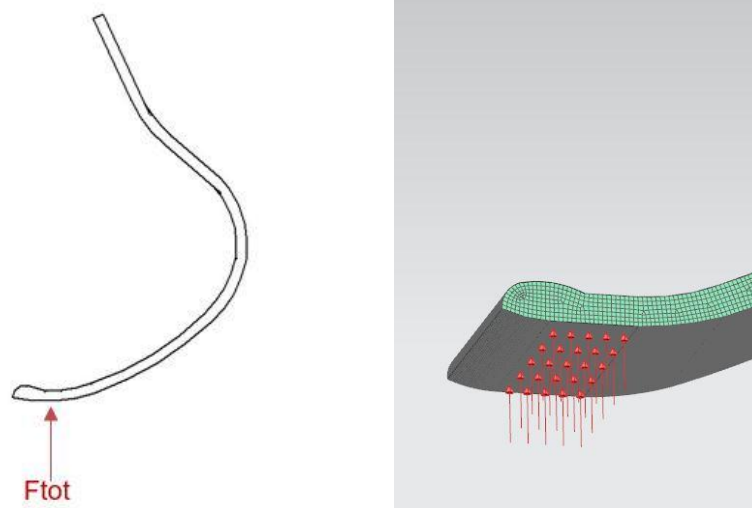


Figura 78: Fuerzas que actúan en la pata.  
Fuente: Elaboración propia

Una vez señalizada la fuerza solo queda resolver el modelo y, si no hay ningún error, ver los resultados.

## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera

Gerald Nicolás Frías Zúñiga

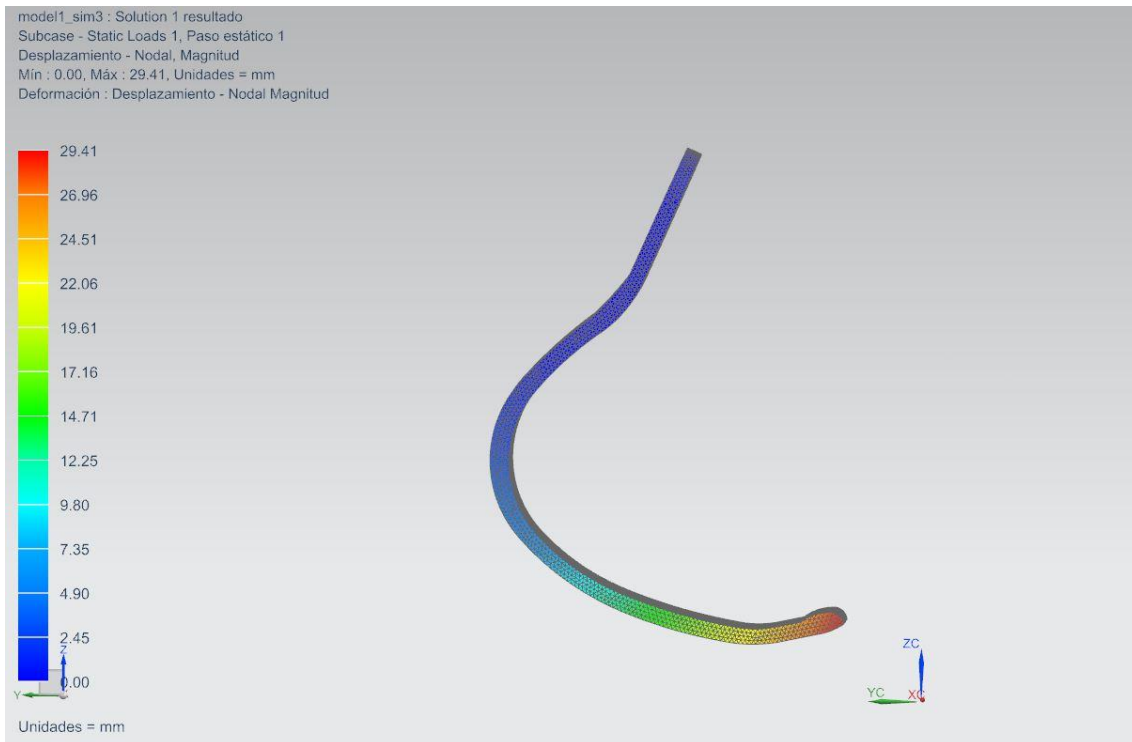


Figura 79: Resultados en desplazamiento de la pata.  
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, ha habido poco desplazamiento. Hay que recordar que no se le ha sumado el refuerzo del 15% de fibra de carbono y, además, el calcetín que también absorberá los golpes.

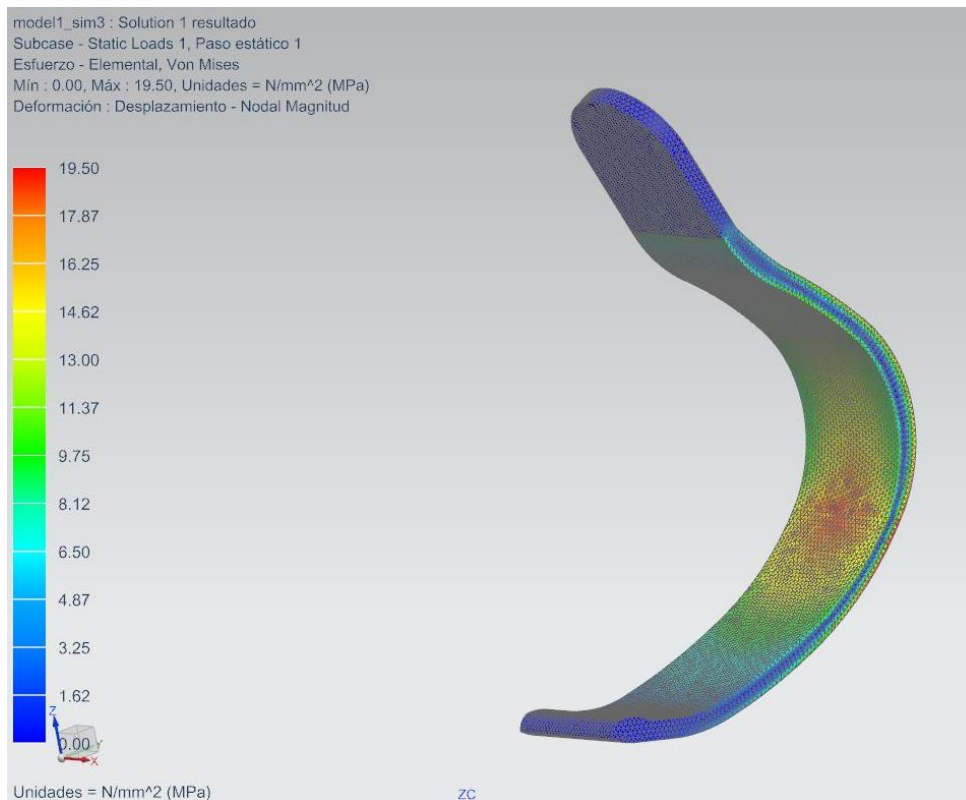


Figura 80: Resultados en esfuerzo de la pata.  
Fuente: Elaboración propia

En esfuerzo, habrá una zona que parece delicada, pero al utilizar un material con un límite elástico de 125MPa no habrá problema, ya que la máxima del ensayo es de 19,5 MPa.

### 7.3 FUERZAS CON EL PERRO EN MOVIMIENTO

Se utilizará también el peso de 35kg y se le añadirá el factor de carga dinámica valorado en 3, ya que un perro ejerce tres veces de fuerza cuando corre.

La simplificación para realizar el análisis es la siguiente:

$$F_{tot} = m \times g \times FC_{dyn}$$

$$FC_{dyn} = 3$$

$$m = 35 \times 0,4 \div 2 = 7kg$$

$$g = 9,8m/s^2$$

$$F_{tot} = 7 \times 9,8 \times 3 = 205,8N$$

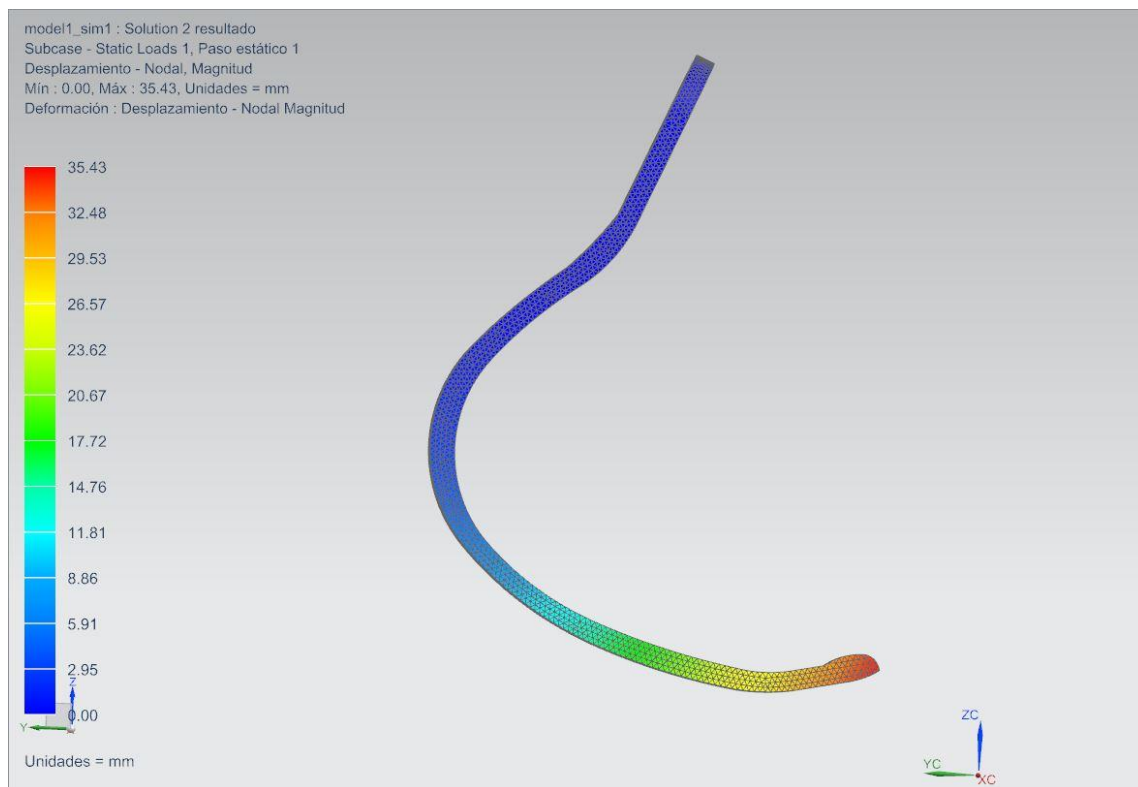


Figura 81: Resultados en desplazamiento de la pata.  
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que hay más curvatura comparada a cuando el perro está solo en pie, pero entra en los parámetros.

## Diseño de prótesis canina de extremidad trasera

Gerald Nicolás Frías Zúñiga

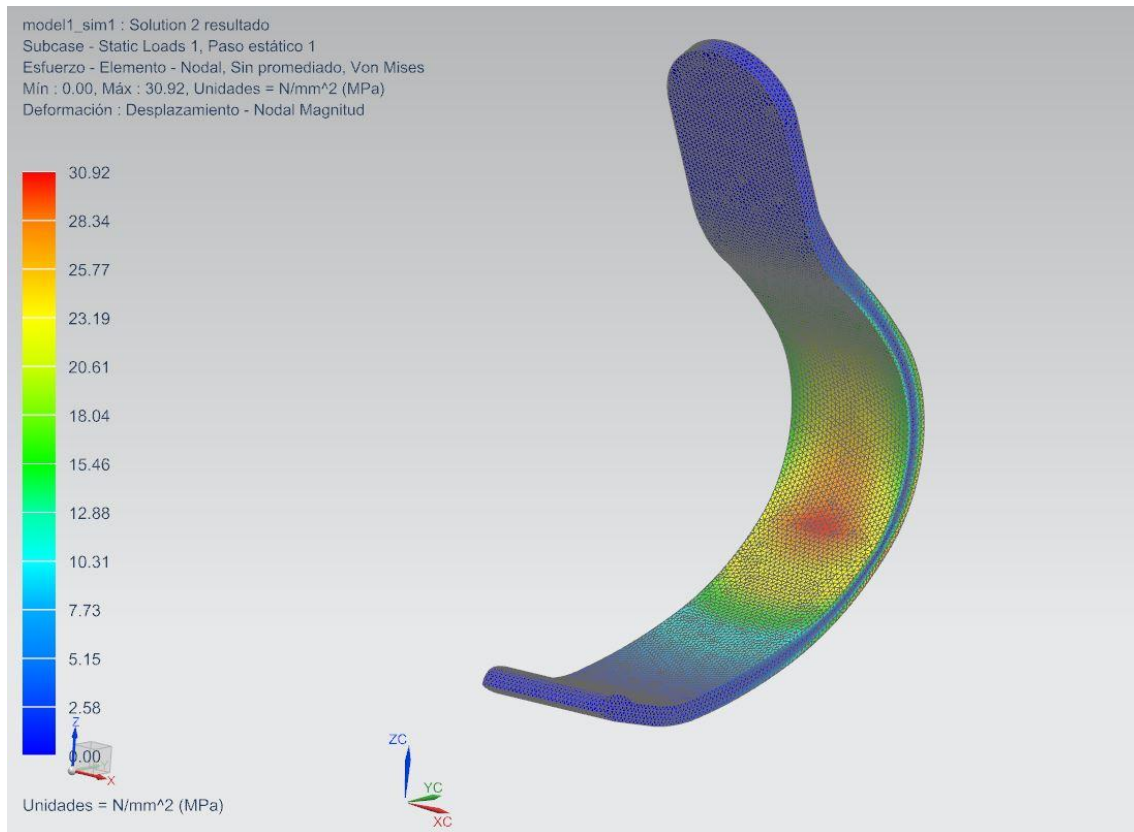


Figura 82: Resultados en esfuerzo de la pata.  
Fuente: Elaboración propia

El esfuerzo esta vez es de 30,92MPa, pero muy por debajo aún para causar algún daño a la estructura. Esto garantiza la integridad de la pieza.

## 8. PRESUPUESTOS

En este apartado se hará una estimación del presupuesto que se debería tener para desarrollar el proyecto. Tendrá una inversión baja, ya que la mayoría de las piezas son de impresión 3D y pequeñas.

### 8.1 PRESUPUESTO DE INGENIERÍA

Para el desarrollo del proyecto ha sido necesario el trabajo del ingeniero. Este tipo de gastos se llama costes de ingeniería, recogidos en la siguiente tabla según la actividad.

Actividad	Coste unitario (€/h)	Tiempo (h)	Coste (€)
Ingeniería de perfil	30	50	1.500,0
Ingeniería conceptual	30	58	1.740,0
Desarrollo del concepto	30	106	3.180,0
Ingeniería de detalle	30	90	2.700,0
Modelación 3D	30	108	3.240,0
Simulaciones	30	27	810,0
Redacción de proyecto	30	139	4.170,0
Total		578	17.340,0

Tabla 24: Costes de ingeniería.  
Fuente: Elaboración propia

El tiempo está contemplado como las horas reales que se ha tardado en realizar el proyecto.

## 8.2 TIPOS DE COSTES

A continuación, se recogerán todos los costes que se tendrán que contemplar para la fabricación de la prótesis. Estos costes pueden ser del material, personal, impresión, etc.

### 8.2.1 COSTE DE LOS MATERIALES

El coste de los materiales se dividirá en dos apartados: el de piezas normalizadas y el de maquinaria junto a los materiales que necesitan para funcionar.

Materiales	Precio unitario (€)	Unidades	Precio (€)
Tornillo DIN-912 M6	0,0239	2	0,0478
Tornillo DIN-912 M4	0,04500	3	0,1350
Tuerca DIN-934 M6	0,02710	2	0,0542
Arandela DIN-125 M6	0,06200	2	0,1240
Pegamento Biocomponente Epoxi Araldite STANDARD	11,18000	0,2	2,2360
Total			2,5970

Tabla 25: Costes de piezas y materiales normalizados.  
Fuente: Elaboración propia

Debido al alto precio de los tronillos guía se ha decidido utilizar DIN-912.

- Para el calcetín de NBR se puede comprar un rollo de 10x1m con un coste de 338,50€. Como la superficie que se necesita para ponerlo en la pata es de 50x70mm, del rollo se pueden extraer 2857 calcetines con un coste de 0,1184€ cada uno.
- Para las correas de sujeción se puede comprar un rollo de 5m con un coste de 4,79€. Cada sujeción ocupará aproximadamente 1m, por lo cual, se pueden extraer 5 sujeciones con un precio de 0,958€ cada una.

Además, se tendrán en cuenta los materiales que necesitarán dichas máquinas para poder trabajar.

Materiales	Cantidad de material (g)	Cantidad de material para una prótesis aprox. (g)	Precio de cada rollo de filamento (€)	Precio para una prótesis (€)
Filamentos de ABS	1.000	300	17,3700	5,2110
Filamentos de Flex X-920	600	60	16,4600	1,6460
Filamentos de Fiberlogy Nylon	500	100	52,9900	10,5980
Total + 2% de desechos				17,8041

Tabla 26: Costes de los filamentos para la impresión 3D.  
Fuente: Elaboración propia



## 8.2.2 COSTES DE MAQUINARIA

Se hará una lista de maquinaria que se debería tener para poder imprimir la prótesis. Estos costes entran directamente en la amortización.

Maquinas	Precio (€)
Impresora 3D - ORIGINAL PRUSA I3 MK3S x3	2.997,00
Escáner 3D - 3DS Sense	583,57
Herramientas	50,00
Total	3.630,57

Tabla 27: Coste de la impresora 3D y el escáner.  
Fuente: Elaboración propia

Al haber tres tipos de filamentos la mejor opción será tener tres impresoras 3D para reducir tiempo en cambiar materiales y ajustar la temperatura de impresión.

Como el tiempo de amortización se plantea para 1 año, esto significa que estará activo 220 días con una jornada laboral de 8 horas, según el convenio laboral.

$$Amortización = \frac{Costes}{Dias\ del\ año \times Horas\ de\ la\ jornada} = \frac{1.587.0000}{220 \times 8} = 0,9017€$$

La intención es que se pueda fabricar una prótesis al día. Esto equivalen a 220 prótesis al año con un coste de amortización de 7,2136€.

## 8.2.3 COSTES DE ELECTRICIDAD

También se tendrá en cuenta el precio que se consume de electricidad.

Coste de energía (€/kWh)	0,150
Consumo medio (kW)	0,500
Coste por hora de la luz (€/h)	0,075

Tabla 28: Costes de electricidad.  
Fuente: Elaboración propia

Si sabemos que el consumo medio de electricidad es de 0,50 kW y el coste de luz es de 0,15 €/kWh se puede deducir que por cada hora que las impresoras estén en funcionamiento, se gastará 0,075€

Al saber cuánto se paga de electricidad por hora, se podrá saber cuánta energía gasta la impresión de cada pieza, dependiendo del tiempo de impresión.

Tipo de pieza	Tiempo (h)	Coste (€)
Carcasa	8	0,600
Adaptador	3	0,225
Pata	13	0,975
Total		1,800

Tabla 29: Costes de electricidad de cada pieza.  
 Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la pieza de la pata tarda más de un día en imprimirse y si solo utilizamos una impresora no se podría llegar a producir una prótesis al día.

Para solucionarlo, se ha decidido que la impresora encargada del adaptador haga las 5 piezas a la semana que le tocan todas seguidas y que, cuando termine, le ayude a la otra impresora a imprimir la pata.

### 8.3 COSTES DE PERSONAL

Aunque nuestra pieza haya sido diseñada mediante un software específico impresión 3D, no asegura que el diseño esté realmente preparado para su fabricación por medio de la tecnología aditiva, ni nos asegura sacar el máximo provecho de cara a beneficios finales de uso asociados al proceso.

Por ello, la mejor opción será contratar a un operario con un sueldo de 20.000€/año que se encargará de la puesta en marcha de la máquina y de la postproducción.

Puesta en marcha de la impresora (h)	1
Postproducción (h)	1
Total de horas para 1 pieza (h)	2

Tabla 30: Suma de horas del operario.  
 Fuente: Elaboración propia

Coste total de la puesta en marcha + postproducción = 2 horas  $\frac{20.000}{2.000} = 20 \text{ €}$

También hay que sumar el sueldo del ingeniero encargado de supervisar todo el proceso y de dar el visto bueno a las piezas imprimidas para que se ajuste al diseño pensado. Su sueldo será de 57.600€ al año.

### 8.4 COSTES DE LA PRODUCCIÓN

La producción de la impresión de las piezas se puede desglosar en diferentes puntos: materiales, puesta en marcha (diseño y máquina), tiempo de funcionamiento de la máquina y retirada de la pieza de la plataforma de impresión.

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Tipo de coste	Costes de la carcasa (€)	Coste del adaptador de la prótesis (€)	Coste de la pata (€)
Coste de materiales			
- Materiales	5,2110	1,6460	10,5980
- Electricidad	0,6000	0,2250	0,9750
Coste de operario			
- Preparación	10	10	10
- Postproducción	10	10	10
Coste de fallos (10%)	2,5811	2,1871	3,1573
Total	28,3921	24,0581	34,7303

Tabla 31: Costes para producir la carcasa, adaptador y la pata.  
Fuente: Elaboración propia

Imprimir todas las piezas tendrá un coste de 87,1805 €. A cada prótesis hay que sumarle la amortización de 7,2136€. Por lo tanto, el coste final será de 94,3941€.

Piezas de la prótesis	Coste (€)
Carcasa	28,3921
Adaptados	24,0581
Pata	34,7303
Amortización	7,2136
Tornillos	0,3610
Epoxi	2,2360
Calcetín	0,1184
Correas de sujeción	0,9580
Total	98,0675

Tabla 32. Costes para producir una prótesis.  
Fuente: Elaboración propia

Producir una prótesis el primer año acotará 98,0675€.

## 8.5 VENTA AL PÚBLICO

Como ha salido un precio bajo comparado a los que hay actualmente en el mercado, se puede establecer una comisión del 30%.

$$\text{Costes de producción} \times \text{Comisión} = 98,0675 \times 1,3 = 127,5\text{€}$$

## 8.6 PUNTO DE EQUILIBRIO Y RETORNO DE INVERSIÓN

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{\text{Costes fijos}}{\text{Precio limpio u.} - \text{CVunitario}}$$

Cálculo del punto de equilibrio	
Presupuesto de ingeniería	18.000,00€
Materiales	98,06€
Precio del producto en venta	127,50€
Costes fijos	57.600,00€ + 17.340,00€

Tabla 33. Cálculos de punto de equilibrio.  
Fuente: Elaboración propia

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{74.940}{127,50 - 98,06} = 2.540 \text{ unidades}$$

Para llegar al punto de equilibrio se van a tener que vender 2.540 unidades, pero si se trabajan 220 días al año se deberán imprimir 11,57uds/día. Como no se pueden hacer tantas unidades al día, se deberá de incrementar el precio de venta.

Si:

$$\text{Precio de venta} = \text{Costes de producción} \times \text{Comisión} = 98,0675 \times 4,5 = 441,30\text{€}$$

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{74.940}{441,30 - 98,06} = 218 \text{ unidades}$$

Si se incrementa el precio de venta a 441,30€, el punto de equilibrio se queda en 218 unidades, que sí se puede contemplar producir.

## 9. CONCLUSIONES

Este TFG tiene la intención de diseñar una prótesis canina trasera, con el objetivo de tener una alta funcionalidad, que sea fácil de colocar para el “dueño”, adaptable a la forma de la pata del perro, personalizable, resistente, económica e imprimible en 3D.

Para indagar un poco en el tema, se hizo una lista de posibles problemas que pueden presentar estos animales, y algunos ejemplos de prótesis en otras especies. Se intentó contactar con un profesional para aclarar algunas dudas, pero debido a la situación que ha provocado el COVID-19, no se ha podido realizar dicha entrevista.

En primer lugar, se ha realizado un recorrido por la historia de las prótesis en humanos y un estudio de mercado de prótesis para perros. Concluyendo que hay un mínimo mercado en ese sector. Se ha analizado los tipos de prótesis que hay actualmente, sus características, y las alternativas que existen. También se ha investigado la fisionomía, anatomía y biomecánica del perro. Una vez obtenida la información, se ha llegado a hacer el briefing que ha sentado las bases de este proyecto.

Una vez definido el briefing, se ha desarrollado la prótesis en 3D ajustándose a los parámetros requeridos y justificando las formas que se le han atribuido. Una vez acabado el diseño se le han atribuido unos materiales que se puedan fabricar en impresión 3D. Durante la atribución de material a la pata han surgido problemas ya que buscábamos un material con unas propiedades determinadas y que se puedan imprimir en 3D.

El siguiente paso ha sido el desarrollo de un modelo de simulación para saber las fuerzas que interactúan sobre la pata y cómo le afectan. Siguiendo con la problemática anterior, al ser un material poco común, no se encontraba en la base de datos del programa y tampoco se podía añadir por la falta de propiedades que no se facilitaban. Por lo tanto, se decidió hacer unos cálculos aproximados justificando este hecho.

Por último, se han establecido una partida de presupuestos para saber cuál sería el coste de nuestra prótesis en el mercado actual. Felizmente, se ha podido rebajar el precio en comparación al resto de prótesis que hay en el mercado para perros.

Aquí termina mi Trabajo Final de Grado, el proyecto más complejo que he tenido que realizar en toda mi carrera estudiantil, pero a la vez, el más satisfactorio, ya que puedo brindar ayuda a aquellos que la necesiten. Ha habido partes del trabajo que han sido arduas y laboriosas, pero he podido solventarlas con gran éxito.

## **AGRADECIMIENTOS**

Para finalizar, me gustaría agradecer a las personas que han hecho posible la realización de este proyecto y que me han mostrado su apoyo incondicional durante su desarrollo.

En primer lugar, me gustaría agradecer al director Joan Josep Aliau, por haberme ayudado tanto en este proyecto. Siempre que le he pedido ayuda ha estado disponible y no le ha importado estar el tiempo que sea necesario para que entendiera algunos conceptos que me costaban. Además, sus consejos y su buen criterio han sido vitales para el desarrollo del trabajo.

Agradecer al cuerpo docente que me han acompañado en esta etapa universitaria y que me han enseñado unos conocimientos claves para mi futura evolución como profesional.

Quería agradecer a mis padres, que me han dado todo su apoyo incondicional y han estado presentes en todo momento por si necesitaba cualquier tipo de ayuda.

Además, me gustaría agradecer a mi novia que ha estado apoyando y ayudando a redactar partes del proyecto, se lo agradezco mucho.

Para finalizar quiero agradecer, tanto a mis compañeros de clase, como al resto de mis amigos, que me han estado preguntando y dando ideas para mejorar el trabajo.

## WEBGRAFIA

- Historia de la prótesis

Enfermedades, T. Y. (2018, 19 junio). Historia de las prótesis desde la antigüedad hasta nuestros días. Tratamiento y Enfermedades. Consultado el 25/03/2020. <https://tratamientoyenfermedades.com/historia-de-las-protesis/>

Los científicos resuelven el misterio de la hebilla y la tira de. (2017, 14 marzo). Ancient Origins España y Latinoamérica. Consultado el 10/04/2020. <https://www.ancient-origins.es/noticias-historia-arqueologia/los-cient%C3%ADficos-resuelven-el-misterio-la-hebilla-la-tira-hierro-descubiertas-un-cementerio-medieval-004126>

E. (2017, 25 octubre). Historia de las prótesis –. El Avance de las Prótesis. Consultado el 10/04/2020. <https://elavancedelasprotesis.wordpress.com/category/historia-de-las-protesis/>

Wallace, L. (2015, 18 diciembre). After Boston marathon bombing, victims have more options for prosthetic limbs. WBEZ Chicago. Consultado el 15/04/2020. <https://www.wbez.org/stories/after-boston-marathon-bombing-victims-have-more-options-for-prosthetic-limbs/829aae64-4ef5-4a5f-9d84-d9825ca98b99>

- Causa de amputación de miembros en los perros

Formación, C. (2020, 5 junio). Amputaciones de extremidades en perros: prevención, causas y más. CIM Formación. Consultado el 25/04/2020. <https://www.cimformacion.com/blog/veterinaria/amputaciones-de-extremidades-en-perros-prevencion-causas-cirugia-y-cuidados/>

Antibióticos para el tratamiento de la osteomielitis crónica en adultos. (2013, 6 septiembre). Cochrane. Consultado el 25/04/2020. [https://www.cochrane.org/es/CD004439/MUSKINJ\\_antibioticos-para-el-tratamiento-de-la-osteomielitis-cronica-en-adultos](https://www.cochrane.org/es/CD004439/MUSKINJ_antibioticos-para-el-tratamiento-de-la-osteomielitis-cronica-en-adultos)

José Andrés Fernández Sarmiento (2003/2004). Amputación de miembros tráficos y pelviano en perro. Consultado el 04/05/2020. [http://www.uco.es/organiza/departamentos/anatomia-y-anat-patologica/peques/curso01\\_05/amputacion.pdf](http://www.uco.es/organiza/departamentos/anatomia-y-anat-patologica/peques/curso01_05/amputacion.pdf)

- Fisiología canina

Antoine Micheau y Susanne AEB Borofka. (10 febrero 2020). Atlas de anatomía del perro en imágenes radiológicas. Imaios. Consultado el 11/04/2020. <https://www.imaios.com/es/vet-Anatomy/Perro/Perro-Osteologia-Radiografias>

- Biomecánica canina

Doogweb. (20 octubre, 2018). Biomecánica del pastor alemán. Consultado el 11/04/2020. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0206037#sec021c>

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Jones, Y. O. (2018, 19 octubre). Inertial properties of the German Shepherd Dog. Journals. Consultado el 11/04/2020. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0206037#sec021%C3%A7%20>

- Tamaños de perros

P. (2020, 15 junio). Todas las Razas de Perros: toys o enanos, pequeños, medianos, grandes y... PetyZoo. Consultado el 24/04/2020. <https://petyzoo.com/razas-de-perros/>

- Prótesis

Silla de ruedas para perros. Todos los tamaños. (s. f.). Ortocanis. Consultado el 02/04/2020. <https://www.ortocanis.com/es/home/103-sillas-de-ruedas-para-perros.html>

Prótesis caninas en 3D de bajo coste y materiales reciclados. (2019, 10 noviembre). EcolInventos. Consultado el 11/04/2020. <https://ecoinventos.com/protesis-caninas-3d-bajo-coste/>

- Prótesis y Ortesis

Prótesis. (s. f.). American cancer society. Consultado el 15/03/2020. <https://www.cancer.org/es/tratamiento/tratamientos-y-efectos-secundarios/efectos-secundarios-fisicos/protesis.html>

Eugènia Miranda. (2018, 7 diciembre). ¿Cuántos tipos de prótesis conoces? Eugenia Miranda - Traumatólogo infantil Tarragona. Consultado el 23/04/2020. <https://mirandatrauma.com/cuantos-tipos-de-protesis-conoces/>

- Estudio de mercado

Ortopedia para perros: todo lo que necesitas saber. (2018, 12 enero). TopperCan. Consultado el 07/05/2020 <https://toppercan.es/ortopedia-perros/>

- Otras opciones a las prótesis:

Chelsee, F. &. (2019, 7 febrero). ¡Le amputaron una pata! ¿Es la Prótesis para Perros una opción? Juega Con Tu Perro. Consultado el 11/03/2020 <https://juegacontuperro.com/2019/02/05/a-mi-perro-le-amputaron-una-pata/>

/. (2017a, abril 27). La sorprendente recuperación de los perros con tres patas. Verne. Consultado el 11/03/2020. [https://verne.elpais.com/verne/2017/04/25/mexico/1493141518\\_162781.html](https://verne.elpais.com/verne/2017/04/25/mexico/1493141518_162781.html)

- Corredores con prótesis

Sistema de prótesis transfemoral para correr. (s. f.). Ottobock. Consultado el 24/03/2020. <https://www.ottobock.es/protesica/miembro-inferior/articulaciones-de-rodilla/sistema-de-protesis-para-correr/>

Ciencia, N. (2016, 26 septiembre). Prótesis para deportistas paralímpicos. Noticias de la Ciencia y la Tecnología (Amazings® / NCYT®). Consultado el 26/03/2020. <https://noticiasdelaciencia.com/art/21235/protesis-para-deportistas-paralimpicos>



Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

- Target

(10/04/2020)

A. (2019, 12 marzo). Perros Policía: Características y funciones | Rexpetfood. REX. Consultado el 10/04/2020. <https://www.rexpetcare.com/perros-policia-caracteristicas-funciones/>

- Escaneado

De Mano. (s. f.). GrupoAbstract. Consultado el 23/04/2020. <https://www.grupoabstract.com/soluciones/equipos/escaner3d/manuales>

- Componentes normalizados

JSP de prueba de error genérico de la aplicación (artículo). (s. f.). Elesa-Ganter. Consultado el 06/05/2020. <https://www.elsa-ganter.es/es/esp/Elementos-para-maquinaria--Tornillos-de-fijacion--ISO7370>

Tuerca hexagonal DIN-934 - Tornillería Reche, S.L. (s. f.). TornilleríaEche. Consultado el 06/05/2020 <http://www.tornilleriareche.com/tuerca-hexagonal-din-934-producto>

Access Denied. (s. f.). Farnell. Consultado el 06/05/2020 <https://es.farnell.com/c/fijacion-mecanica/elementos-fijadores/tornillos-y-pernos/tornillos-allen?tamano-de-rosca-metrica=m4>

Tornillo allen DIN-912 12.9 Unbrako. (s. f.). Suministros Industriales Entaban. Consultado el 06/05/2020. <https://entaban.es/allen/131-tornillo-allen-din-912-unbrako-129.html>

- Materiales

Materiales usados en la protésica - Segunda parte. (2017, 18 diciembre). Amputee Coalition. Consultado el 20/05/2020. <https://www.amputee-coalition.org/resources/spanish-materials-prosthetics-part-2/>

CMEmaterials. (s. f.). UB. Consultado el 20/05/2020 <http://www.ub.edu/cmematerials/es/materials>

Flex X-920 Sakata 3D Pizarra 1,75 mm. (2020, 22 junio). impresoras3d.com. Consultado el 20/05/2020. <https://www.impresoras3d.com/producto/flex-x-920-sakata-3d-pizarra-175-mm/>

Adhesivo pegamento para piezas de fibra de carbono o Kevlar Araldite. (s. f.). ClipCarbono.com. Consultado el 20/05/2020. <https://www.clipcarbono.com/es/comprar-adhesivos-para-carbono-y-kevlar-mejor-precio/776-adhesivo-generico-bicomponente-epoxi-araldite-standard-1212-ml.html>

- Presupuestos

Hernández, J. (2019, 7 marzo). Cómo elaborar el presupuesto de un proyecto de impresión 3D. La mejor información sobre Impresión 3D. Consultado el 03/06/2020 <https://impresiontresde.com/presupuesto-de-un-proyecto-impresion-3d/>

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Nylon PA12+CF15 1,75 mm. (s. f.). 3DJake España. Consultado el 03/06/2020  
<https://www.3djake.es/fiberlogy/nylon-pa12cf15>

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga

Diseño de prótesis canina de extremidad trasera  
Gerald Nicolás Frías Zúñiga