

TRABAJO FINAL DE GRADO:

APORTES DE LA IMPRESIÓN 3D A LA FABRICACIÓN DE EXOPRÓTESIS CANINAS EN URUGUAY

EUCD | FADU | UDELAR

OCTUBRE 2020



AUTORES

Daniel Anichini

María Inés Barral

TUTORA

Florencia Peirano

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4	7. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO	38
2. OBJETIVOS	5	7.1. Descripción general	43
3. METODOLOGÍA	6	7.2. Correlación entre medidas del paciente y su prótesis	45
4. MARCO TEÓRICO Y PROYECTUAL	7	7.3. Componente tecnológico	47
4.1. Introducción al marco teórico	8	7.4. Secuencia de uso	51
4.2. Acercamiento a conocimientos de anatomía canina	9	8. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL CASO	54
4.3. Impresión 3D por deposición fundida	15	9. METODOLOGÍA DE ADAPTACIÓN A CASOS SIMILARES	56
5. PLANTEAMIENTO Y VALIDACIÓN DEL PROBLEMA	20	10. COMPONENTE FINANCIERO	61
5.1. Contexto global	21	11. CONCLUSIONES	64
5.2. Contexto del proyecto	21	12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
5.3. Acercamiento a profesionales de la salud animal	23	13. ANEXOS	67
5.4. Evaluación clínica	24	13.1 Contexto del proyecto	67
5.5. Hipótesis	25	13.2 Fichas de antecedentes	71
5.6. Listado de requisitos del producto	26	13.3. Proveedores de insumos para impresión 3D en Uruguay	82
5.7. Resumen de antecedentes	27	13.4. Ficha de paciente	87
6. IDEACIÓN DE ALTERNATIVAS	30	13.5. Proceso e modelado del dispositivo	91
6.1. Valoración de alternativas	35	13.6. Testeos previos del dispositivo	98
6.2. Conclusiones	37	14. CARPETA TÉCNICA	105

RESUMEN EJECUTIVO

Los perros poseen una gran capacidad de adaptabilidad ante situaciones adversas como lo es una amputación. Sin embargo, existe evidencia de que, a mediano y largo plazo, la falta de un miembro podal genera complicaciones en la salud del animal. El objetivo de este proyecto es aportar a la mejora de la calidad de vida de perros que han atravesado un procedimiento de amputación de una de sus patas traseras.

En respuesta a esta problemática se desarrolla un modelo de prótesis realizada en impresión 3D, implementada en un caso de estudio con una amputación en una de sus patas traseras.

Como resultado se obtuvo un producto que se adecua a las características del animal mediante una metodología que permite adaptarlo a casos análogos de similares características, recurriendo fundamentalmente a la fabricación digital para su diseño y desarrollo.

1. INTRODUCCIÓN

La domesticación de animales se considera un hito para la humanidad, dado que facilitó tareas imprescindibles para la supervivencia como lo son el trabajo de campo, transporte y caza. Puede compararse en este sentido a la invención de la rueda.

Una de las teorías actualmente propuestas indica que este proceso de cambio se dio en una época en la que el ser humano comenzaba a permanecer más tiempo en cada lugar en el que vivía y, de esta forma, algunos animales se acercaban a comer los desperdicios que el hombre dejaba. Así se cree que comenzó la interacción de los humanos y los lobos, antepasados del perro doméstico, con quien hasta hoy en día compartimos una relación inquebrantable.

El valor que el hombre le da al perro ha trascendido una gran diversidad de culturas a lo largo de las épocas. El perro fue ampliamente valorado en muchas otras antiguas civilizaciones como la romana, la japonesa y la azteca.

Al llegar el renacimiento, el perro figuraba inclusive en pinturas como compañero de familias aristócratas; los nobles llegaban al punto de vestir a sus mascotas con lujosas prendas y joyas.

En la actualidad, en los países occidentales, la tenencia de perros está asociada a una necesidad de compañía: a los ojos de muchas personas, estos animales brindan un afecto incondicional, por lo que son escogidos como compañeros e incluso como parte de la familia. Una gran cantidad de estudios han demostrado que los perros de compañía mejoran la calidad de vida de sus dueños. Asimismo, cabe destacar el rol que cumplen los perros en tareas tales como ayuda y apoyo a personas con capacidades diferentes, tanto físicas como cognitivas, salvataje de personas en situaciones de peligro y búsqueda de drogas, entre otras.

Sin lugar a dudas es posible afirmar que las personas depositan en sus perros una gran carga afectiva, por lo que, para muchos, el bienestar y la calidad de vida de

sus mascotas se encuentran al comienzo en su listado de prioridades. Más aún, en muchas ocasiones, en muchas ocasiones el estado emocional de una persona se ve impactado en forma directa por el bienestar de su mascota.

Existe una enorme variedad de productos y servicios enfocados en el bienestar de las mascotas, desde alimentos especiales hasta juguetes, elementos para hacer ejercicio, e incluso servicios y tratamientos médicos desarrollados especialmente para ellas. Entre estos últimos podemos encontrar suplementos alimenticios, medicación, procedimientos quirúrgicos y terapéuticos, órtesis y prótesis, entre muchos otros.

Es este contexto en el que surge la idea de generar un proyecto que tenga como foco central el bienestar de perros que han atravesado un procedimiento de amputación podal. Los motivos de amputación son variados, aunque el más común se relaciona a lesiones por trauma, seguido por deformaciones congénitas. La falta de un miembro puede generar consecuencias a mediano y largo plazo para el animal, entre las que se encuentran deformaciones posturales y sobrecarga del miembro homólogo, aspectos que pueden provocar mucho dolor al animal e incluso acortar su expectativa de vida. Por este motivo, su sustitución representa un camino hacia la mejora en su calidad de vida.

Hoy en día, la fabricación digital es una tendencia creciente a nivel global, siendo aplicada en una gran diversidad de áreas como medio para la creación de soluciones. Las prótesis caninas no son la excepción; la impresión 3D por deposición fundida es una tecnología de fabricación digital cuyas características permiten realizar piezas únicas a medida a costos bajos en comparación a otros sistemas productivos, por lo que es un recurso utilizado en este rubro a nivel global. Sin embargo, el mercado uruguayo no cuenta con antecedentes de prótesis caninas disponibles al público, por lo que la amplia mayoría de los dueños de perros en esta situación no logran encontrar soluciones que se adapten a las necesidades de sus mascotas.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Aportar a la mejora de la calidad de vida de perros que han atravesado un procedimiento de amputación de una de sus patas traseras , mediante la realización de un dispositivo a medida.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un modelo de prótesis y una metodología de adaptación que permita adecuarla a diversos casos similares, partiendo de un caso representativo.
- Explorar las posibilidades y ventajas que la fabricación digital y concretamente la impresión 3D por FDM puede brindar como proceso productivo principal de la solución.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de que los perros poseen una gran capacidad de adaptabilidad ante situaciones adversas (como lo es una amputación), existe evidencia de que, a mediano y largo plazo, la falta de un miembro podal genera complicaciones en la salud del animal, tales como deformaciones posturales, lesiones en el miembro homólogo y la columna, dolores crónicos, entre otros. Esto afecta directamente su calidad y esperanza de vida, lo cual repercute a su vez en el estado emocional de dueños que poseen un alto nivel de apego a sus mascotas. Las causas de un miembro parcial pueden ser variadas, siendo las más comunes lesiones por trauma y deformaciones congénitas.

A nivel local no existen cifras referentes a la cantidad de perros afectados por esta situación ni el motivo de la misma; asimismo, las personas que se enfrentan a ella no suelen encontrar soluciones disponibles en el mercado, por lo que en la gran mayoría de los casos esta necesidad queda insatisfecha.

Como alternativa se puede recurrir a servicios de fabricación de prótesis a medida en el exterior (servicio a distancia), pero los precios para miembros parciales comienzan en el entorno de los USD850, volviéndose una solución lejana al alcance de muchos.

3. METODOLOGÍA

Se debe tener en cuenta que el presente proyecto requiere una gran cantidad de consideraciones técnicas específicas del campo de la medicina veterinaria. Por este motivo, resulta prudente plantear como metodología de trabajo el intercambio constante con profesionales en la salud animal durante todas las diferentes etapas del proceso proyectual.

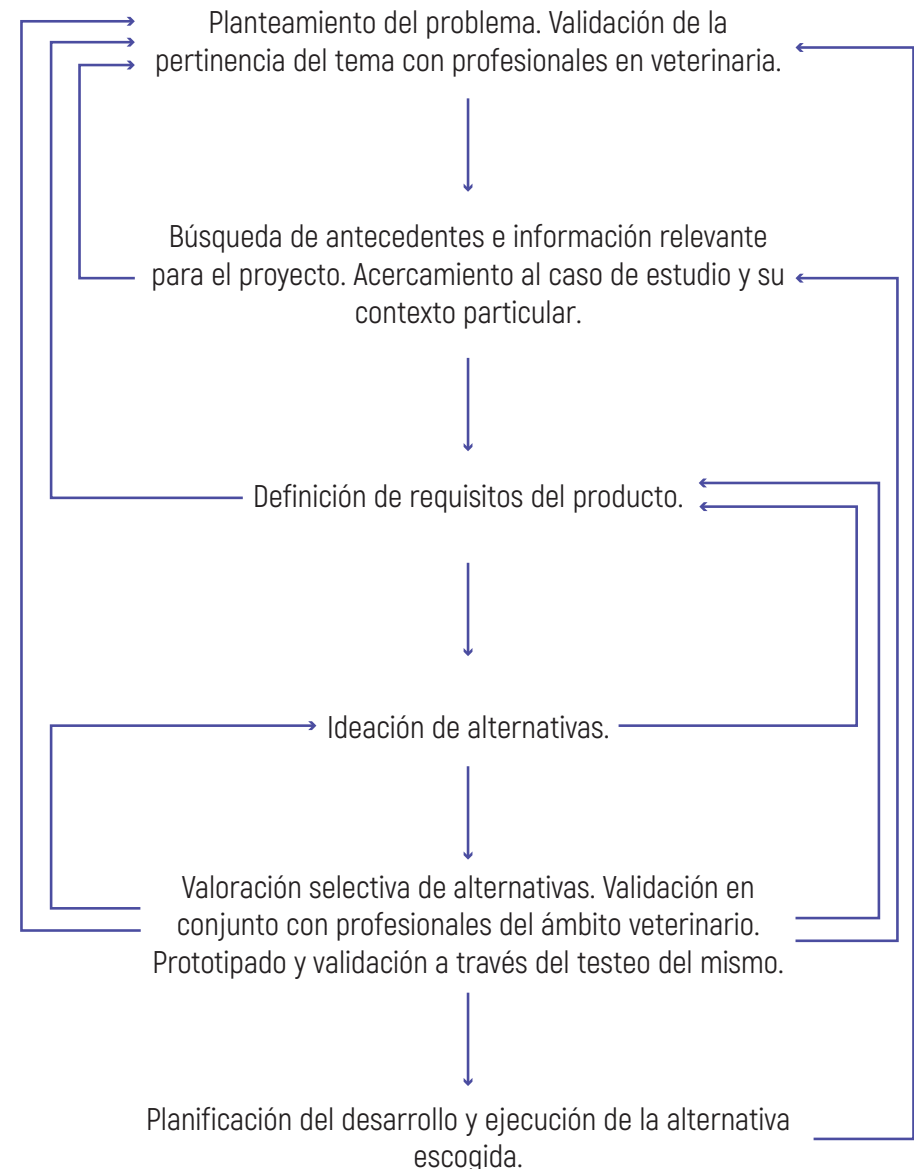
Se entabló contacto con la Dra. Stella Da Silva, profesional que se dedica al tratamiento integral para la rehabilitación física de pequeños animales, y quien estuvo involucrada en un proyecto de fabricación digital de órtesis y prótesis para perros en conjunto con el D.I. Alberto Menestrina.

También han sido contactados, a través de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de la República, el Dr. Fernando Fumagalli, veterinario con amplia experiencia en cirugía y amputaciones en perros, y la Dra. Graciela Pedrana, quien, como integrante de la cátedra de Histología en la Fvet, ha tenido experiencias de aplicación de modelado e impresión 3D en el campo de la veterinaria, además de expresar un gran interés en el tema.

Dado que no existen datos relativos a los tipos de amputaciones, se trabajará sobre un caso de estudio específico que, a pesar de tener características particulares, oficiará como representativo de un conjunto de casos al que se buscará atender con el desarrollo del proyecto. A partir de este caso se generará una serie de hipótesis que serán análogas a otros casos de naturaleza similar.

A nivel de proceso proyectual se tomará como referencia la metodología de diseño de Bürdek.

ETAPAS DEL PROYECTO ACORDE A LA MACROESTRUCTURA DE BÜRDEK



4. MARCO TEÓRICO Y PROYECTUAL

4.1. INTRODUCCIÓN AL MARCO TEÓRICO

Previo al comienzo del proceso de diseño, entendemos que es indispensable realizar un acercamiento a conocimientos relacionados al proyecto.

Dado que la función de una prótesis es sustituir el miembro faltante de un animal, deberemos apuntar a replicar las características del miembro homólogo. Por este motivo consideramos fundamental contar con nociones de anatomía y biomecánica canina, específicamente en relación a los miembros pelvianos, para lograr comprender sus funciones y principios, y poder así generar un dispositivo que se adapte en forma acertada al animal. Asimismo, es relevante también conocer los comportamientos que los perros tienen entorno a sus miembros podales traseros para tomarlos en cuenta como posibles acciones que el animal puede llegar a realizar utilizando el dispositivo.

Ya que nuestra formación académica no es en ciencias veterinarias sino en diseño industrial, recurriremos al aporte de profesionales del área para asesorarnos respecto a bibliografía que podrá ser de utilidad.

Por otra parte, el dispositivo deberá cumplir una serie de requisitos mecánicos que responden a su función y entorno (resistencia a los esfuerzos, desgaste, factores climáticos, entre otros), por lo que resulta imprescindible empaparnos en conocimientos relativos a la impresión 3D por deposición fundida, sistema productivo que se utilizará como recurso en su desarrollo.

Se trata de una tecnología que difiere en su lógica de fabricación por capas con cualquier otro sistema productivo, motivo por el cual posee propiedades únicas. Entender sus variables, funcionamiento y las propiedades de los materiales de los que se vale es necesario para lograr responder en forma óptima a la problemática en cuestión.

4.2. ACERCAMIENTO A CONOCIMIENTOS DE ANATOMÍA CANINA

TERMINOLOGÍA DIRECCIONAL

Para designar la posición de las diferentes estructuras en el organismo se utilizan diversos adjetivos que serán definidos a continuación para facilitar la comprensión de la información técnica necesaria para llevar adelante el proyecto.

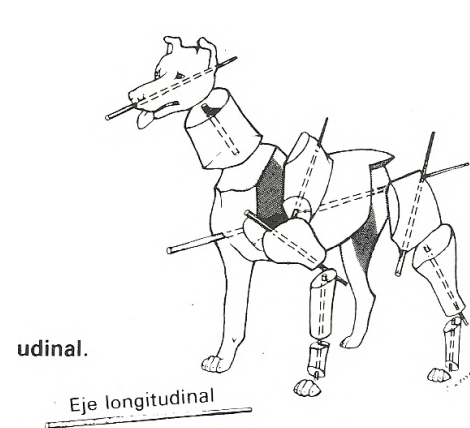


Fig. 1. Adams, D. (1986). Eje longitudinal. [Figura]

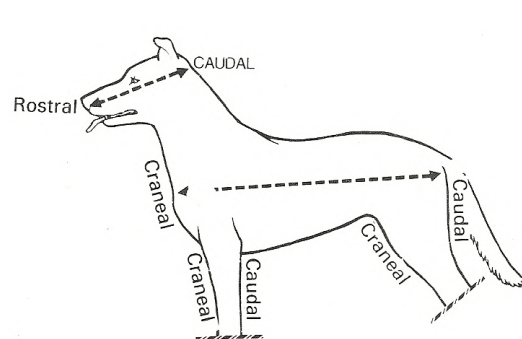


Fig. 2. Adams, D. (1986). Craneal/rostral y caudal. [Figura]

La línea imaginaria que atraviesa el centro de una estructura en toda su longitud se denomina eje longitudinal. El peso de dicha estructura se distribuye casi de forma simétrica alrededor de su eje longitudinal. (Adams, 1986, p.3)

Craneal y caudal son dos términos direccionales que significan proximidad relativa al cráneo y la cola respectivamente. Estos términos se emplean al describir estructuras, para describir su posición a lo largo del eje longitudinal del perro. (Adams, 1986, p.3)

Por otro lado, los términos proximal y distal se emplean para describir la posición de una estructura a lo largo del eje proximodistal, en relación al grueso de la masa corporal. Proximal se refiere a una posición dirigida hacia la mayor parte de masa de una estructura, mientras que distal se refiere a una posición alejada de la misma. (Adams, 1986, p.3)

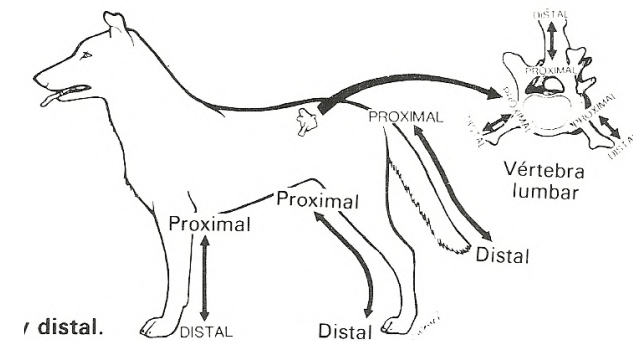


Fig. 3. Adams, D. (1986). Proximal y distal. [Figura]

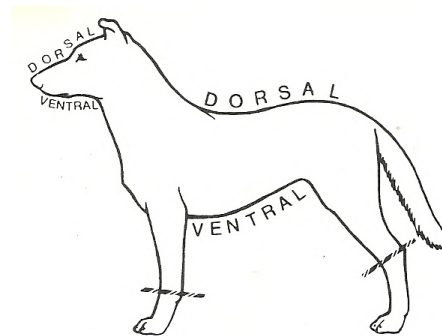


Fig. 4. Adams, D. (1986). Dorsal y ventral. [Figura]

Dorsal y ventral son términos usados para designar la proximidad al dorso o vientre respectivamente. Cuando se utilizan en estructuras como por ejemplo cabeza o miembros, indican posiciones opuestas a lo largo del eje longitudinal. En el caso del miembro pelviano, la superficie provista de almohadillas es la cara plantar. (Adams, 1986, p.5)

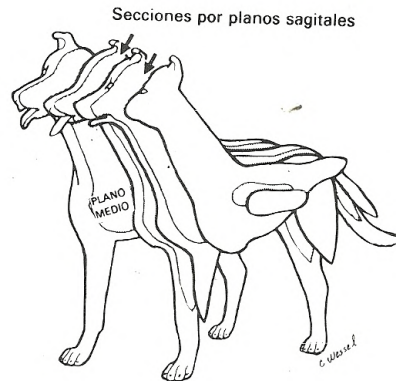
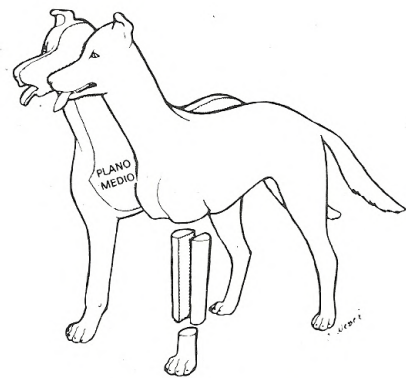


Fig. 5. Adams, D. (1986). Plano medio. [Figura]

Fig. 6. Adams, D. (1986). Plano sagital. [Figura]

Medial y lateral se refieren a posiciones próximas o alejadas, respectivamente, del plano medio del animal. (Adams, 1986, p.5)

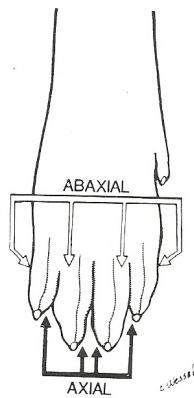
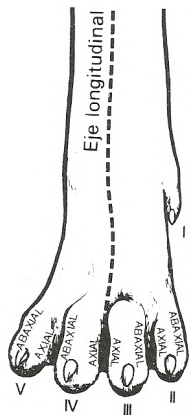


Fig. 7. Adams, D. (1986). Axial y abaxial. [Figura]

Axial y abaxial son términos utilizados para los dedos y están relacionados con el eje longitudinal del miembro. Dicho eje en los miembros torácicos y pelvianos pasa entre los dedos tercero y cuarto. Los dedos del miembro pelviano se nombran I, II, III, IV y V, según su posición medial a lateral. La cara axial de los dedos es la superficie de cada uno de ellos más próxima al eje longitudinal del miembro, mientras la cara abaxial es la más alejada. (Adams, 1986, p.7)

EL MIEMBRO PELVIANO

El miembro pelviano del perro se divide en las siguientes subregiones:

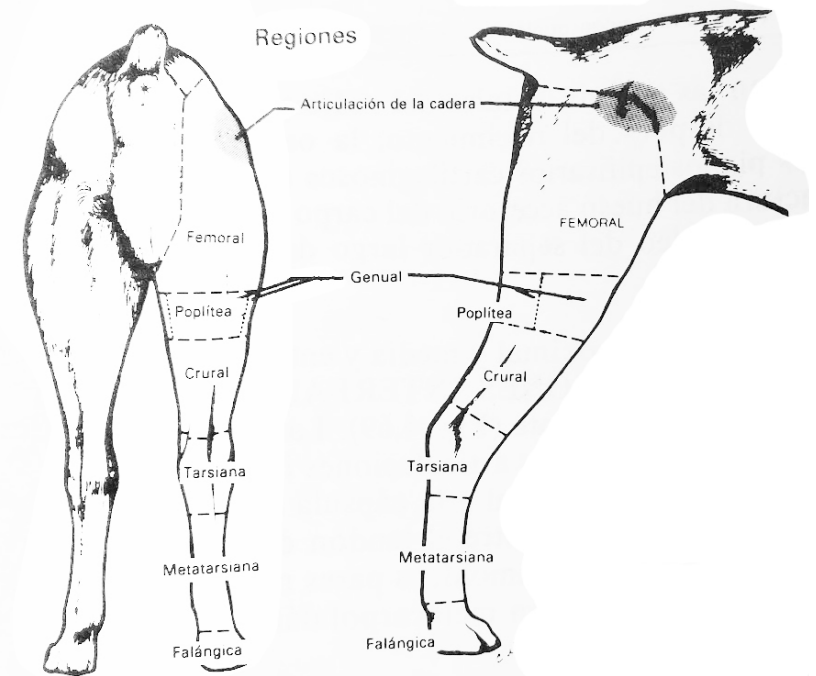


Fig. 8. Adams, D. (1986). Subregiones del miembro pelviano. [Figura]

La pierna se divide en las regiones femoral, gnuar y crural, mientras que el pie se compone de las subregiones tarsiana, metatarsiana y falángica. El área de articulación entre el metatarso y el segmento proximal de los dedos es la región metatarso-falángica. (Adams, 1986, p.83)

Dado el caso de estudio tomado se realiza un estudio del miembro pelviano del perro, haciendo foco en la articulación tarsiana.

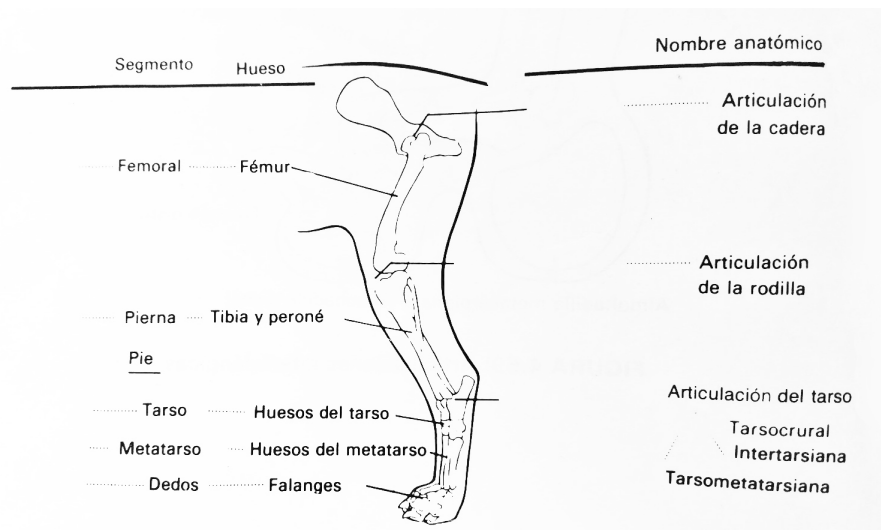


Fig. 9. Adams, D. (1986). Segmentos anatómicos del miembro pelviano. [Figura]

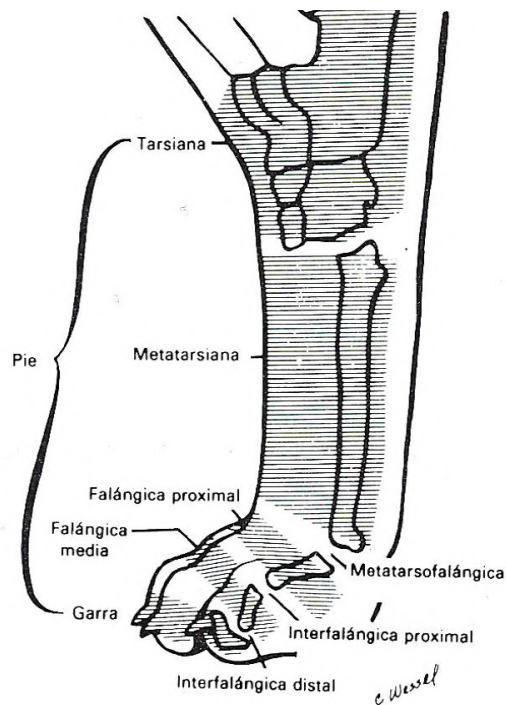


Fig. 10. Adams, D. (1986). Regiones del pie. [Figura]

BIOMECÁNICA

El sistema musculoesquelético se encuentra diseñado para la sustentación y el movimiento; está compuesto de huesos, músculos, ligamentos, cartílagos, tendones y fascias. Se denomina atrofia a la disminución del tamaño muscular y la pérdida de calcio en los huesos, siendo la hipertrofia el caso contrario; uno de los factores que influyen en la atrofia muscular es la inmovilidad. La actividad muscular que implica ejercicio impone una tensión sobre los huesos, y dicha tensión es la que estimula el crecimiento óseo. (Adams, 1986, p.177)

Tanto en movimiento como en quietud, el peso del perro se distribuye en sus cuatro extremidades. La mayor parte de la carga aplicada a los huesos largos produce tensiones paralelas (compresión) y perpendiculares (cizallamiento) a sus ejes longitudinales. Durante la carrera, estas tensiones aumentan de forma considerable. Los huesos tienden a soportar mejor las fuerzas compresivas que las de cizallamiento, por lo que un conjunto de huesos dispuestos extremo contra extremo logra soportar mayores fuerzas que al formar ángulos entre sí. (Adams, 1986, p.177)

La articulación del tarso es la que conecta la pierna con el pie, y está formada a su vez por la articulación tarsocrural, la tarsometatarsiana y varias articulaciones intertarsianas. Existe una serie de músculos que se originan en el fémur y se insertan en los huesos del pie: flexores del tarso, extensores del tarso, flexores de los dedos y extensores de los dedos. (Adams, 1986, p.83)

MOVIMIENTO

El perro inicia el movimiento con sus miembros torácicos. Sus almohadillas metacarpianas y metatarsianas toman contacto con el suelo antes que las digitales. El impacto contra el suelo es amortiguado mediante la sobreextensión de las articulaciones del carpo y la flexión de las del tarso, así como también por los tendones de los músculos flexores. La amortiguación provista por las articulaciones de codos y rodillas, por otra parte, es limitada. Los músculos flexores de los dedos de las manos y pies se contraen, con el objetivo de transferir el peso del cuerpo a las almohadillas digitales. (Adams, 1986, p.181)

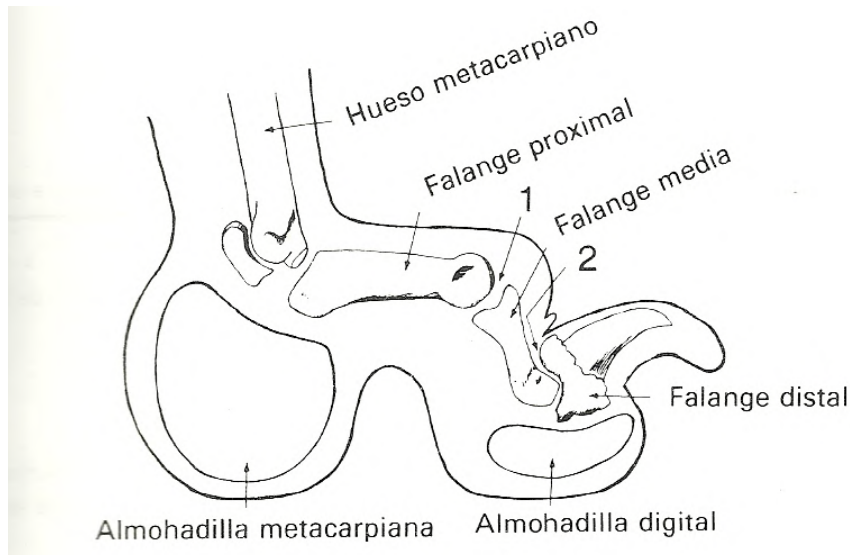


Fig. 11. Adams, D. (1986). Articulaciones interfalángicas. [Figura]

Un paso es definido como la secuencia de movimientos de las extremidades repetida regularmente. Andar al paso, al trote o al galope llevan consigo una secuencia particular de movimientos.

LA INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CORPORALES EN LA MARCHA



Fig. 12. Perros de diferentes portes. Extraído de: www.uokpl.rs

Los perros grandes, aunque de similares proporciones a los pequeños, no poseen el mismo grado de eficacia en el movimiento: si la longitud del cuerpo aumenta X veces, el peso aumenta x3, pero la fuerza muscular solamente x2.

Para lograr una mayor eficacia en el desplazamiento, los miembros deben estar en línea recta (vista craneal o caudal) desde la articulación del hombro o pelvis hasta el suelo. Dado que cada articulación distal a la de estas últimas actúa como bisagra, cualquier desviación lateral o medial de un hueso requiere mayor esfuerzo muscular para su sustentación en el movimiento craneal-caudal. (Adams, 1986, p.185)

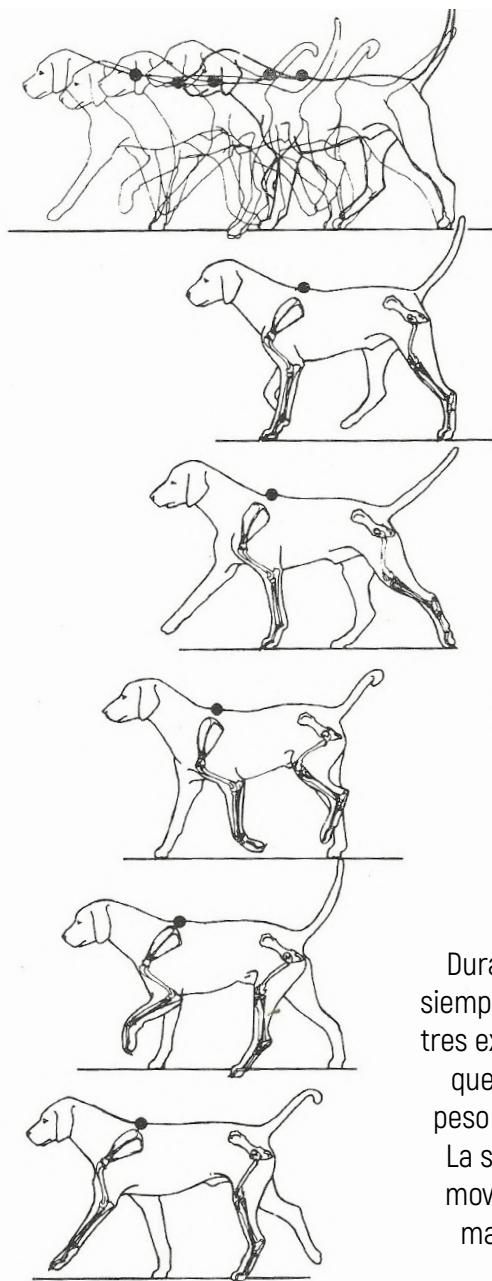


Fig. 13. Adams, D. (1986). Movimiento vertical y secuencia de movimientos de los miembros en el paso. [Figura]

Durante el paso, siempre hay dos o tres extremidades que soportan el peso del cuerpo. La secuencia de movimientos es: mano derecha, pie derecho, mano izquierda, pie izquierdo.

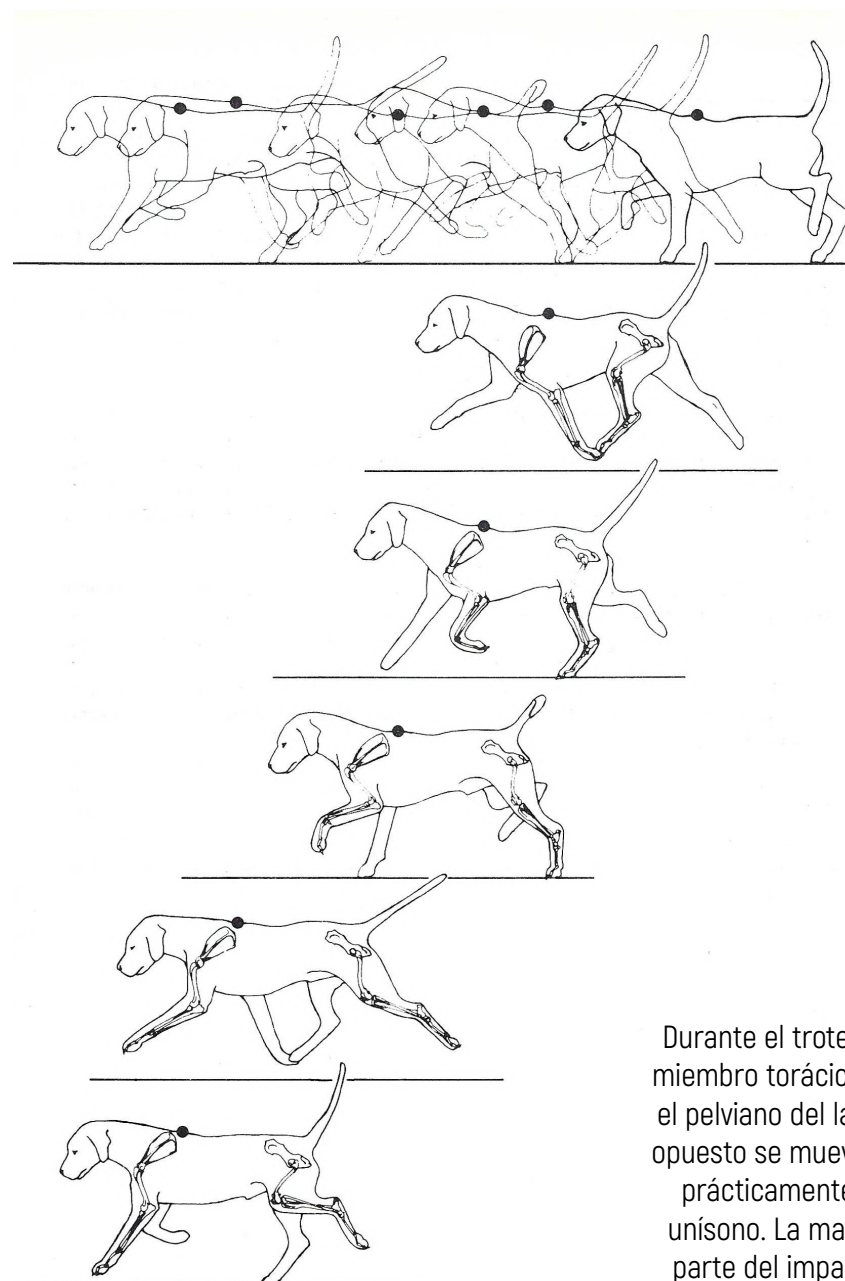


Fig. 14. Adams, D. (1986). Movimiento vertical y secuencia de movimientos de los miembros en el trote. [Figura]

Durante el trote, el miembro torácico y el pelviano del lado opuesto se mueven prácticamente al unísono. La mayor parte del impacto es absorbido por el miembro torácico.

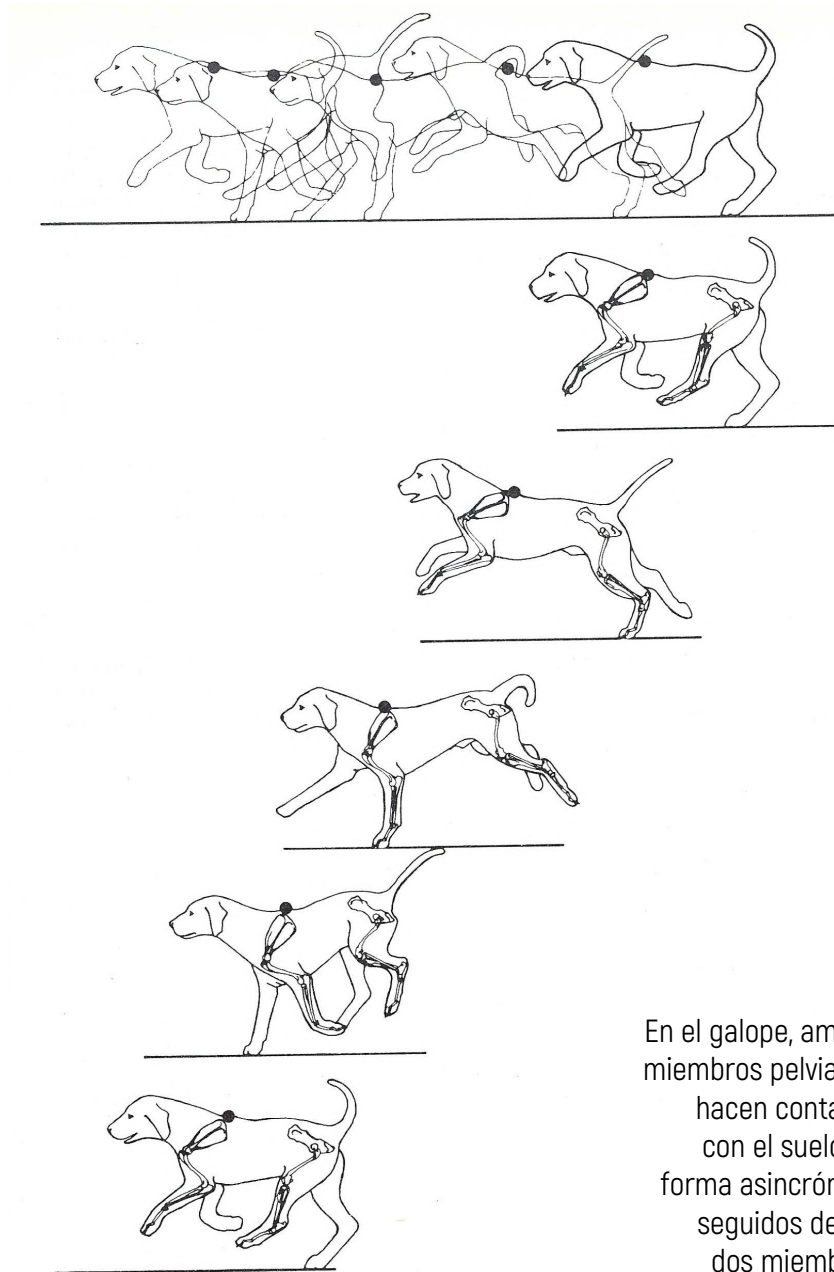
OTRAS FUNCIONES DEL MIEMBRO PELVIANO

Aunque la función principal de los miembros podales de un perro es la del movimiento en todas sus formas, son también utilizados durante otras actividades igualmente importantes.

Una de ellas y quizás la más relevante al referirnos al miembro pelviano, es el rascado. Los perros se valen de las uñas de sus patas traseras para calmar pruritos: de esta manera alcanzan gran parte de su torso, cuello y cabeza; para zonas que no pueden ser alcanzadas de esta manera recurren al uso de pequeñas mordidas controladas.

Curiosamente, el movimiento de rascado es algo que se ve incluso en perros que han carecido toda su vida de alguna de sus patas, indicando que se trata de una acción de carácter instintivo. En el caso de estos perros, suelen buscar otras formas de rascarse: contra plantas o muebles, con ayuda de sus dueños o utilizando elementos específicos para este propósito (por ejemplo cepillos esquineros de autorrascado).

Otras actividades que los perros realizan con sus patas traseras son patear el suelo luego de defecar y, en el caso de los machos, levantar una de ellas para poder orinar sobre superficies verticales (por ejemplo árboles), en ambos casos como forma de marcar su territorio.



En el galope, ambos miembros pelvianos hacen contacto con el suelo de forma asincrónica, seguidos de los dos miembros torácicos, de la misma manera.

Fig. 15. Adams, D. (1986). Movimiento vertical y secuencia de movimientos de los miembros en el galope. [Figura]

4.3. IMPRESIÓN 3D POR DEPOSICIÓN FUNDIDA

La impresión en tres dimensiones representa una tendencia creciente a nivel global. Se trata de un recurso aplicable a una enorme variedad de campos de trabajo (prototipado, gastronomía, arquitectura, decoración, medicina, etc.) y en constante desarrollo. Sus características la convierten en una tecnología ideal para desarrollar producciones pequeñas o a medida, logrando piezas con atributos que no podrían ser logrados con ningún otro sistema productivo actual. Sumado a esto, el constante avance de la impresión 3D implica que cada vez más personas pueden acceder a ella, ya sea teniendo impresoras de uso personal, o acceso cercano a proveedores del rubro.

Entre las mayores ventajas de la impresión 3D se destaca la posibilidad de desarrollar piezas a medida con alto grado de detalle, en tiempos y costos reducidos respecto a sistemas productivos tradicionales; se trata de una tecnología especialmente útil durante el proceso de diseño para reducir plazos de prototipado y testeo.

Otro atributo a resaltar es la oportunidad que esta tecnología ofrece entorno al desarrollo de soluciones a distancia. La fabricación digital como tal permite a un individuo o equipo diseñar dispositivos que luego podrían ser fabricados en cualquier parte del mundo con gran facilidad (ya sea en una ciudad vecina o al otro lado del mundo), contando únicamente con los archivos y los elementos productivos necesarios.

La tecnología FDM, o modelado por deposición fundida por sus siglas en inglés (fused deposition modeling), es un proceso de fabricación en impresión 3D que consiste en la deposición en capas de un material fundido. Un filamento es extruido a través de una boquilla que lo calienta hasta alcanzar su temperatura de fusión. La boquilla, controlada mediante software, puede desplazarse en tres ejes (X, Y, Z). El material se deposita sobre una superficie horizontal que se calienta para posibilitar su adherencia y evitar así deformaciones.

Fabricio Leyton, en su investigación "Estudio y caracterización de las variables que afectan a la impresión 3D en la generación de objetos manipulables", enumera cinco características que influyen directamente en el proceso, y varían dependiendo de cada caso particular de impresión. Las mismas son:

1 EL EXTRUSOR

Deposita el filamento de forma vertical y su temperatura puede modificarse dependiendo de qué material se desee utilizar, de forma que el mismo se funda justo antes de salir de la boquilla. El diámetro de ésta es la medida mínima de resolución al imprimir en XY, y la máxima en Z.

2 MOVIMIENTOS EN EL PLANO XY

Sus límites y precisión dependen del porte de la máquina y la precisión de sus motores.

3 MOVIMIENTOS EN EL EJE Z

Es el movimiento que define las capas que forman la impresión. Dependiendo

de la resolución que se le de en este eje, la definición de la pieza final podrá variar; dicha resolución puede ser incluso menor al diámetro de la boquilla, y, aunque esto conlleva mayores tiempos en el proceso, logra también una superficie más fiel al modelo original.

4 SUPERFICIE HORIZONTAL DE IMPRESIÓN

Se trata de una superficie cuya temperatura puede ser modificada dependiendo de qué material se utilice en la impresión. El objetivo de esta característica es que la pieza se adhiera a la superficie y evitar así el efecto conocido como warping, es decir, deformaciones dadas por la contracción del material al enfriarse.

5 MATERIAL

El material es el elemento que define muchos de los aspectos ya mencionados, entre los que se encuentran la temperatura de la boquilla y de la superficie de impresión, la resolución y los rangos de velocidad al imprimir. Entre los polímeros más comúnmente utilizados en la tecnología FDM se encuentran el PLA (ácido poliláctico), ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y PET (tereftalato de polietileno), aunque también se utilizan en menor frecuencia otros polímeros como el Nylon, PC (policarbonato), TPU (poliuretano termoplástico), entre otros.

RELLENOS ESTRUCTURALES

Para generar resistencia estructural, las piezas impresas en 3D llevan, en general, estructuras internas llamadas relleno o "infill". Estos son generados automáticamente por software, tomando como límites la superficie interna del volumen a imprimir. La resistencia aportada por estos rellenos se define acorde a dos variables: el patrón geométrico utilizado y el porcentaje de relleno. Este último va de 0% a 100%, siendo 0% una pieza hueca y 100% una pieza maciza. Como generalidad, puede afirmarse que, tratándose del mismo patrón geométrico, una pieza tendrá mayor resistencia estructural cuanto mayor sea su porcentaje de relleno. [Leyton, 2016] Sin embargo, a mayores porcentajes de relleno, aumentan también los tiempos y costos de impresión.

Los diferentes tipos de relleno estructural dan como resultado diferentes propiedades mecánicas, así como variaciones en las velocidades de impresión. De esta manera, algunas estructuras resultan en una mayor eficiencia en el uso del material de impresión.

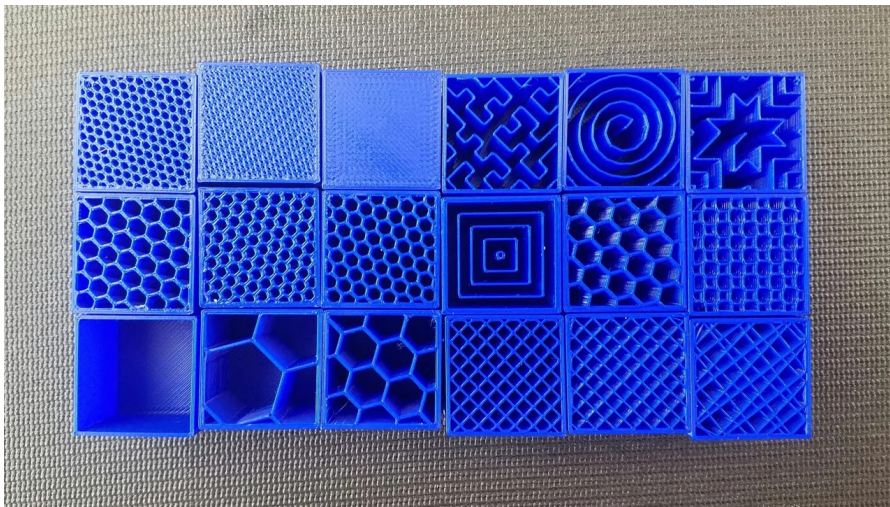


Fig. 16. Variedad de rellenos estructurales. Extraído de: www.all3dp.com

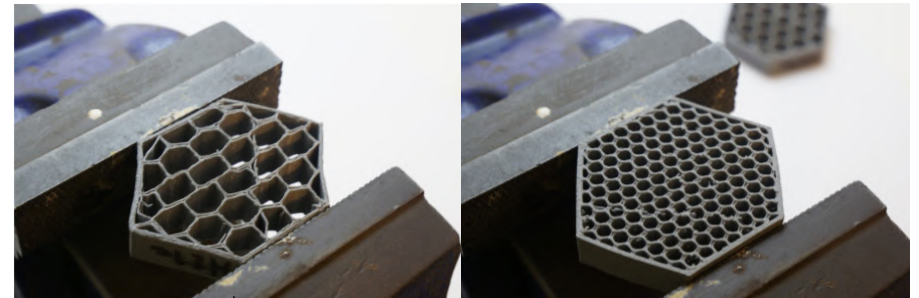


Fig. 17. Leyton, 2016. *Ensayos con rellenos* [Foto]

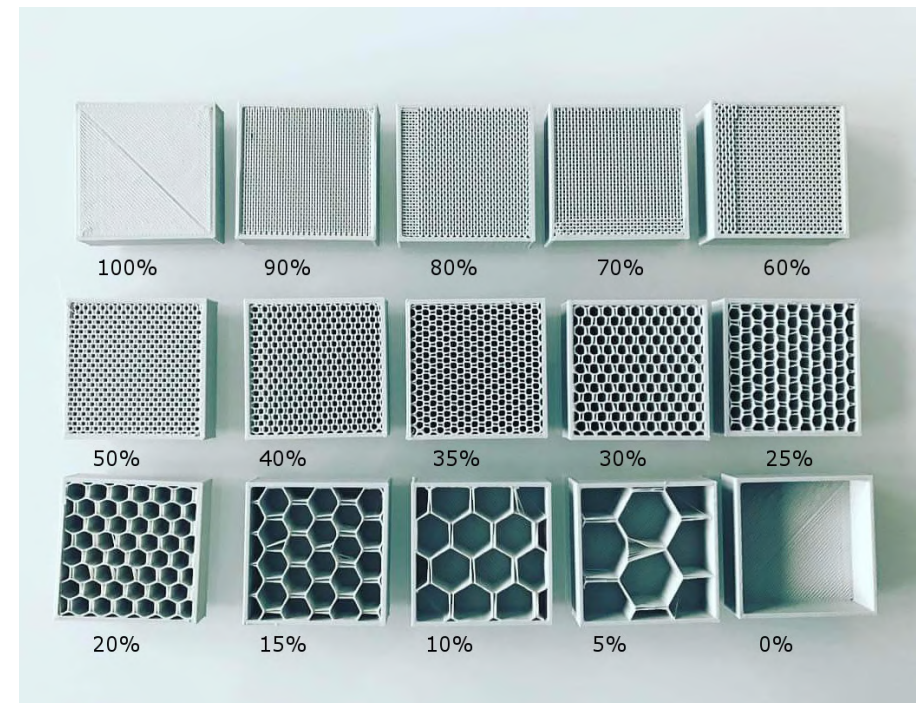


Fig. 18. Muestras de impresión con diferentes porcentajes de relleno, utilizando un patrón de panel de abeja. Recuperado de: <http://www.my3dprintpro.com/infill.html>

IMPRESIÓN DE POLÍMEROS FLEXIBLES

Al imprimir polímeros flexibles hay que tener en cuenta una serie de consideraciones para que la pieza a generar se realice exitosamente. El sistema de impresión más indicado para esta tarea es uno con extrusor de alimentación directa (Direct feed extruder) ya que el filamento es considerablemente más blando y flexible, lo que generalmente causa atascos y enredos en los extrusores tipo Bowden, (Fig. 19) ya que es más difícil que el filamento siga el camino que está determinado por el extrusor. Esto también puede llegar a suceder con sistemas de alimentación directa aunque en menor medida.

A pesar de esto, algunos sistemas Bowden pueden ser actualizados mediante piezas diseñadas para solucionar este tipo de problemas, guiando el filamento de una mejor manera y evitando atascos. Para la realización de este proyecto y el uso de estos materiales utilizaremos impresoras modelo Creality Ender 3 (sistema Bowden), reemplazando la pieza que soporta el extrusor con una de estas actualizaciones.

Una vez que el sistema es apto para imprimir este tipo de filamento, hay que tener en cuenta una serie de aspectos a la hora de preparar el archivo en el slicer (software) de preferencia (Cura, Idea maker, Simplify 3D, etc.). Los mismos son:

- Desactivar las retracciones. Retraer este tipo de filamento constantemente puede causar sub extrusión (extrusión de menos material que el necesario) hasta en algunos casos que la pieza no se imprima.
- Imprimir a velocidades bajas (30mm/s).
- Si hay problemas para que el material se adhiera a la superficie de impresión en su primera capa, puede utilizarse pegamento en barra.

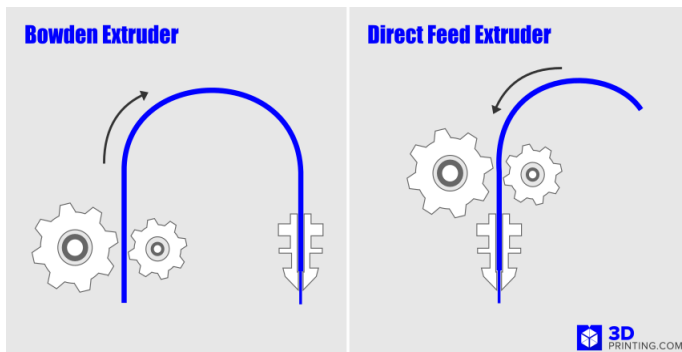


Fig. 19. Diferencia entre extrusión Bowden y directa. Recuperado de: <https://3dprinting.com/>

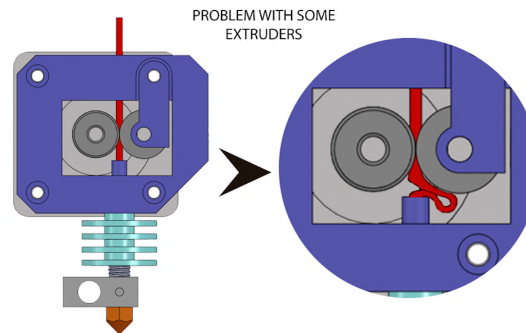


Fig. 20. Diferencia entre extrusión Bowden y directa. Recuperado de: <https://3dprinting.com/>

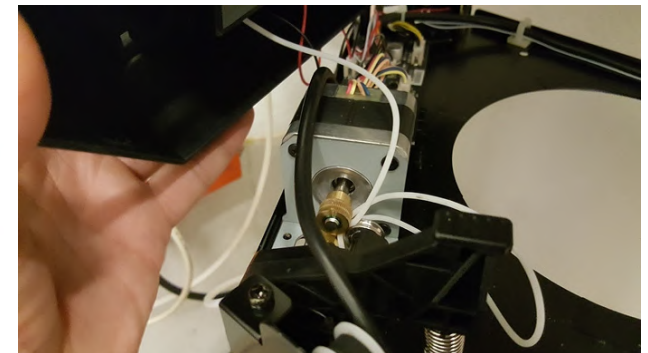


Fig. 21. Atascos de filamento flexible en impresora con extrusor Bowden.

ORIENTACIÓN DE LAS PIEZAS

A la hora de imprimir una pieza mediante impresión 3D (FDM) se debe tener en cuenta la orientación en la que la misma será dispuesta. Al ser un sistema de producción por capas, la pieza no posee las mismas resistencias en todos sus ejes, (similar a como actúan las vetas de la madera y como se deben tener en cuenta en el proceso de diseño). Las resistencias mecánicas en el eje vertical de la pieza (acorde a la posición de impresión) son siempre menores en relación a los otros ejes, basándonos en la idea anteriormente planteada.

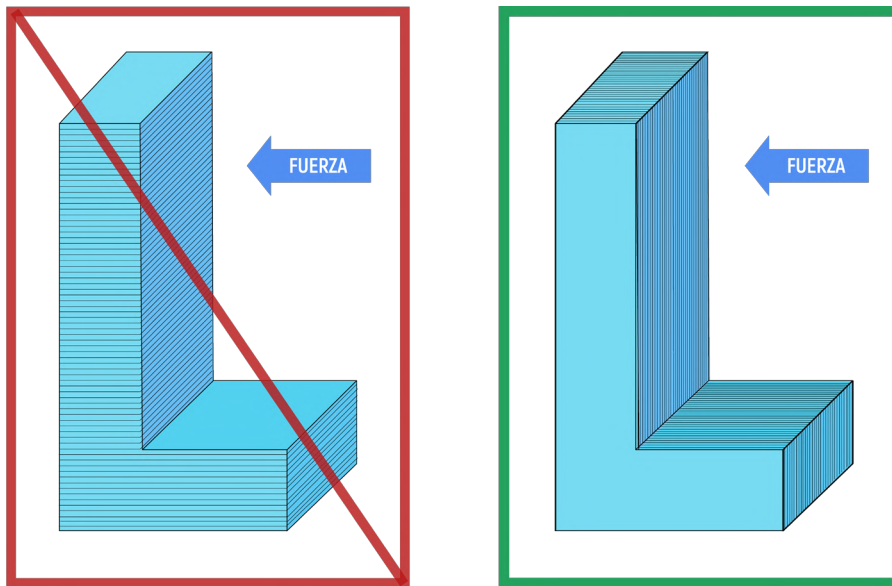


Fig. 22. Esquema de orientación de capas en piezas impresas en 3D. Autoría propia.

5. PLANTEAMIENTO Y VALIDACIÓN DEL PROBLEMA

5.1. CONTEXTO GLOBAL

La falta de extremidades funcionales en perros es una situación que puede darse por una amplia variedad de motivos; estos incluyen deformaciones congénitas, enfermedades que comprometan al miembro, neoplasia, trauma y otros. En la actualidad, no existe en Uruguay un registro de casos de perros con miembros faltantes o amputados, ni de los motivos que llevaron a los mismos.

A nivel global, sin embargo, sí existen algunos estudios realizados acerca del tema. Un trabajo titulado “Retrospective multi-center analysis of canine socket prostheses for partial limbs” (ver Anexo) analiza factores como el motivo del miembro parcial y la satisfacción de los dueños de perros con prótesis en 47 casos. En dicho estudio, 42 de las 47 personas encuestadas consideran que sus perros llevan una vida normal y funcional con la utilización de prótesis, a pesar de tener un miembro faltante. Asimismo, se constató que el motivo más recurrente de la falta de un miembro en perros es algún tipo de trauma (34%), seguido por deformaciones congénitas (21%).

Pese a la falta de datos a nivel local, el intercambio con profesionales en veterinaria a lo largo del presente proyecto resultó ser una gran fuente de relatos y experiencias pertinentes para el tema. No es inusual que dueños de perros con miembros faltantes o parciales consulten acerca de la posibilidad de sustituir dicho miembro como medio para mejorar la calidad de vida de su mascota. Durante la duración del proyecto, fuimos incluso contactados debido a dos casos de perros con miembros parciales, en búsqueda de soluciones adaptadas a cada uno de ellos.

A pesar de que la diversidad de casos es sumamente amplia, es posible afirmar que todos ellos pueden llegar a beneficiarse, en diferentes grados, de la sustitución del miembro parcial. El grado de beneficio dependerá no solamente de las características del miembro en sí mismo sino de todo el caso en general: atributos del perro, edad, patologías presentes, período de tiempo que haya vivido con un miembro parcial, etc.

5.2. CONTEXTO DEL PROYECTO

A continuación se detallarán las características particulares del caso tomado como referencia para el desarrollo del proyecto. Cabe destacar que, a pesar de que cada caso tendrá siempre características específicas que lo diferencien y deberán tenerse en cuenta, existen generalidades que pueden ser compartidas por un grupo amplio de casos. Entre ellas se encuentran fundamentalmente las características del miembro amputado (región faltante, estado de la piel en la zona amputada) y requisitos que responden directamente a estos, así como a las funciones que cumplen los miembros podales en el común de los perros.

CASO DE REFERENCIA

Nombre: Ruffus

Raza: Dogo argentino

Edad: 2 años y medio al finalizar el proyecto

Peso: 35 kg Aprox.

Características del miembro amputado:

- Carencia de la región tarsiana inclusive. Ausencia de la articulación tarso-crural.
- Presencia de callosidad en la zona amputada (se dejó piel en dicha zona durante un proceso quirúrgico, previendo que el perro pudiese apoyar el miembro sin sentir dolor).
- La pérdida del miembro se dio cuando el perro era un cachorro recién nacido.
- Se observan movimientos de flexión y extensión del miembro durante la marcha, aunque sin llegar a apoyarlo en el suelo.

Contexto físico en el que vive:

- Terreno de gran superficie
- Mucha presencia de pasto, barro y agua
- Pisos de baldosa

Personalidad:

- Muy activo
- Sociable con otros animales y con humanos

Para información más detallada del contexto y circunstancias de la amputación dirigirse a Anexos



Fig. 1. Miembro amputado. Autoría propia.

PERTINENCIA DEL CASO

En general, por sus características particulares, se trata de un caso abordable en los plazos del proyecto y con grandes posibilidades de mejorar su calidad de vida a largo plazo con la ayuda de una intervención de parte del diseño.

Esto se debe en gran medida a que se trata de un perro joven, que aún no sufre de forma grave las consecuencias de la falta de su miembro (aspecto que se desarrollará en el punto 5.4). Por otro lado, resulta muy relevante la presencia de las regiones femoral y crural, ya que da la posibilidad de generar una prótesis que se sujete directamente del miembro y brinde mayor control de movimiento para el perro (en comparación, por ejemplo, a casos con amputaciones a nivel de la cadera o cercanos a ella).

5.3. ACERCAMIENTO A PROFESIONALES DE LA SALUD ANIMAL

El objetivo de este acercamiento fue la validación de la problemática desde la perspectiva de profesionales con experiencia particular relacionada a la temática de pequeños animales con amputaciones.

Dr. Fernando Fumagalli

Doctor en Ciencias Veterinarias

Profesor Grado 2 de la cátedra de semiología - FVet, Udelar

En una primera instancia, se coordinó una reunión con él en la sede de la FVet para plantearle la temática del proyecto y sus objetivos.

El Dr. Fumagalli, entre otras actividades, realiza amputaciones a perros que han atravesado accidentes o enfermedades que comprometen alguno o varios de sus miembros. Afirma que, a pesar de que los perros tienen una gran capacidad de adaptabilidad a estas circunstancias, la falta de uno o mas miembros puede repercutir en la salud del animal por la variación en la distribución de su peso.

Además de su visión médica acerca del tema, observa la actual tendencia por parte de la gente a humanizar a sus mascotas, y piensa que a muchas personas les gustaría que si su mascota sufre una amputación pueda, en un futuro, volver a verlo realizar las actividades que cualquier perro puede realizar de manera normal.

Dra. Stella Da Silva

Doctora en Ciencias Veterinarias con maestría en Salud Animal. Cuenta con experiencia en fisioterapia, acupuntura y terapia neural.

Propietaria de REHAFIVET (Clínica de rehabilitación animal)

Al igual que el Dr. Fumagalli, afirma que la falta de un miembro puede provocar patologías a largo plazo en un animal, generando dolor y dificultades en el movimiento por lo que, dependiendo del grado de desarrollo la patología, la sustitución del miembro podría revertir en cierto grado esta situación o, por lo menos, detener su avance.

Además de validar la problemática como tal, el objetivo de trabajar junto a la Dra. Da Silva fue apuntar a la futura rehabilitación y potencial adaptación del paciente. En relación a este tema, planteó una serie de recomendaciones para presentar la prótesis al animal.

Como punto fundamental para posibilitar la adaptación, afirma que el perro debe sentirse cómodo utilizando el dispositivo. Esto implica que no le genere molestias, especialmente en el contacto con el miembro amputado.

5.4. EVALUACIÓN CLÍNICA

Se llevó a cabo una evaluación veterinaria de Ruffus, por parte de la Dra. Da Silva. Se trata de una etapa fundamental para conocer las particularidades del caso, y validar la viabilidad de la utilización de una prótesis como recurso para la mejora de la calidad de vida del animal. Durante la misma se constató que, a la fecha, el perro presenta posturas viciosas que podrían, en un futuro, generar una patología. Se observa:

- Escoliosis izquierda a nivel toracolumbar
- Desnivel en la cadera: la cadera derecha se encuentra más baja que la izquierda
- Pata izquierda rotada lateralmente a nivel de la rodilla. Durante su crecimiento, se generó una rotación lateral de las articulaciones de la rodilla y el tarso para compensar la falta del miembro homólogo

Como consecuencia de dichas posturas vemos los siguientes resultados:

- Hipertrofia compensatoria en la pata izquierda
- Hipotrofia del músculo del miembro posterior derecho

Aunque por el momento no presenta molestias al tacto a lo largo de la espalda y cadera, es de esperar que con el correr del tiempo su postura y la forma en que su cuerpo se adaptó a la falta de su miembro sí le genere dolor. Si su postura continúa así, sus vertebras podrían presentar enfermedad discal.

Como medidas de prevención a largo plazo, se recomienda proporcionarle suplementos para proteger las articulaciones, así como tratamientos de fisioterapia que relajen los músculos y articulaciones involucrados: acupuntura, quiropraxia, etc.



Fig. 2 y 3. Arriba: posturas viciosas | Abajo: tratamiento de acupuntura. Autoría propia.



5.5. HIPÓTESIS

Luego de realizar un intercambio con los profesionales del área, y un análisis del caso de estudio, podemos realizar una serie de afirmaciones que esperamos se cumplan con el desarrollo y la conclusión del proyecto.

1. El perro no rechazará el dispositivo. Para lograr cumplir la presente hipótesis se deberá prestar especial atención a la comodidad del miembro al relacionarse con el dispositivo. Asimismo, es fundamental prestar atención a que la experiencia de adaptación resulte placentera desde el comienzo para el animal, y no estresante. De lo contrario, el perro podría generar aversión ante el mismo.
2. El perro intentará, desde el comienzo, caminar con la prótesis. A pesar de que se trata de un animal que nunca caminó con el miembro que le falta, los movimientos que realiza con él al caminar nos dan la pauta de que busca constantemente un punto de apoyo, y de que los músculos presentes no se encuentran totalmente atrofiados.
3. El dispositivo podrá adaptarse a otros casos de similares características. Aplicando los mismos principios de diseño, será posible adaptar las medidas específicas del dispositivo a otros casos particulares.
4. Disminuirá el avance de las posturas viciosas que presenta. Al tratarse de un perro de casi dos años, se encuentra finalizando el proceso de osificación de los huesos (transformación de los cartílagos propios de los cachorros en tejido óseo de mayor densidad). Por este motivo, es poco probable que las deformaciones posturales que presenta se reviertan completamente. Sin embargo, la mejora en la descarga de su peso proporcionada por la prótesis colaborará al compensar su mala postura y, por ende, la misma no continuará desarrollándose.

5.6. LISTADO DE REQUISITOS DEL PRODUCTO

Un paso fundamental previo a la ideación de alternativas proyectuales fue identificar y clasificar una serie de requisitos que el producto debería cumplir. El cometido de esta herramienta es guiar y brindar parámetros concretos durante el proceso proyectual de acuerdo a los objetivos planteados. Para ello se partió de todo el material teórico recopilado y antecedentes, incluyendo opiniones de los diferentes profesionales de la salud animal consultados; asimismo, se consideraron las características particulares del caso, como por ejemplo el contexto en el que vive.

Los requisitos fueron clasificados, de acuerdo a su nivel de relevancia, en indispensables, deseables y optativos. A su vez, pueden ser clasificados en generales (aquellos que responden a un grupo de animales representados por el caso representativo escogido) y particulares (aquellos que atienden a las características diferenciales del caso representativo, y no necesariamente apliquen al común de los perros en condiciones similares).

CONCEPTO DE PRODUCTO

Dispositivo que sustituye el miembro pelviano amputado de un perro, diseñado acorde a una serie de pautas metodológicas que permitan su reproducción en casos similares.

Como metodología para proponer alternativas se listaron diferentes atributos que satisfacen independientemente los requisitos pautados como indispensables, luego de lo cual se unieron en diferentes combinaciones. Los resultados fueron cuatro alternativas que se presentarán en el capítulo siguiente.

INDISPENSABLE

GENERAL

- Resistencia mecánica (Resistente a la abrasión, resistencia a la compresión en su eje longitudinal, resistencia al impacto)
- Lavable
- Removable
- Cómoda y firme sujeción al miembro amputado
- Que amortigüe el impacto al andar
- Que iguale la altura del miembro homólogo en posición de reposo, dejando la cadera equilibrada
- Que no resbale en contacto con el suelo
- Que no lastime al perro en caso de que intente rascarse con ella

PARTICULAR

- Resistente a inclemencias climáticas (Rayos UV - agua)

DESEABLE

- Liviano - de peso similar al miembro homólogo
- Que prevenga la posible proliferación de hongos y bacterias en el miembro amputado
- Fácil de colocar
- Bajo costo en comparación a soluciones ya existentes
- Total o parcialmente reciclable
- Que cada parte sea reemplazable individualmente en caso de roturas

OPTATIVO

GENERAL

- Comunicar datos del perro e información de contacto del dueño

PARTICULAR

- Facilitar la visibilidad del perro en la ausencia de luz
- Sistema de posicionamiento global (GPS)

5.7. RESUMEN DE ANTECEDENTES

Se realizó una búsqueda general de referentes con el objetivo de conocer investigaciones y productos que pudiesen aportar información relevante al proyecto, tanto por el caso específico de estudio, así como por su metodología de resolución, recursos de diseño utilizados, e incluso información respecto a la efectividad del uso de exoprótesis en perros.

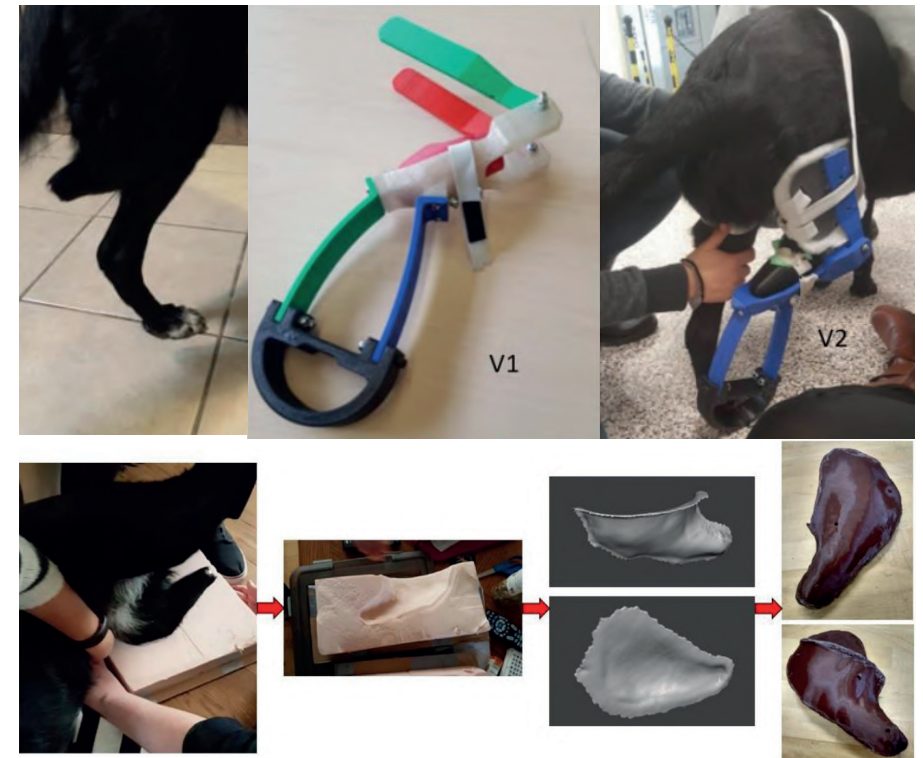
A nivel de síntesis general podemos afirmar que, a pesar de que a nivel internacional existen algunas empresas que se dedican a la fabricación de órtesis y prótesis caninas (en este último caso a medida), a nivel local no existen empresas de este rubro. Se observan únicamente algunos proyectos aislados y con escasa difusión.

También como generalidad, muchos de los antecedentes encontrados se encuentran enmarcados en ámbitos académicos o particulares, y en muchos de ellos la impresión 3D es una herramienta recurrente.

A continuación se presenta un resumen de los antecedentes que consideramos más relevantes para el proyecto. Para ver todas las fichas completas con información en mayor detalle, dirigirse a Anexos.

PUPPY PROSTHETIC | CUSTOM 3D PRINTED DOG PROSTHETIC

Autores: Susan Aikman, James McGee, Brandon Powell, Jessica Godard, Ally Meile



SÍNTESIS

Prótesis realizada en impresión 3D a partir de la toma de un molde para un perro que atravesó una amputación de un miembro podal. Se sujeta a la altura del muslo, debido a que el extremo del miembro amputado carece de la callosidad necesaria para poder ser apoyado (esto se debe a que el procedimiento quirúrgico no se realizó en forma óptima).



BIONIC PETS
Fundador: Derrick Campana



SÍNTESIS

Empresa originaria de Virginia, EEUU, dedicada a realizar prótesis y órtesis a medida para una enorme variedad de animales. Toman moldes del animal, a partir del cual fabrican las piezas necesarias combinando impresión 3D con diferentes recursos según cada caso.

Trabajan a distancia, enviando prótesis y órtesis a todas partes del mundo.

SISTEMA DE DOBLE ANCLAJE



SÍNTESIS

Tipo de socket aplicado a prótesis para seres humanos que consiste en dos partes: una pieza interior blanda y una exterior rígida. La pieza interior brinda comodidad al paciente, ajustándose al miembro amputado y aportando una zona confortable sobre la que la persona puede apoyar peso sin molestias; la zona rígida, por otro lado, otorga forma y estabilidad a la prótesis.

El sistema posee una válvula que expulsa el aire residual dentro de la prótesis, generando vacío entre el socket interno y el miembro amputado.

PRÓTESIS 3D: PROYECTO INTEGRADOR DE LA CARRERA DE DISEÑO INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ORT

Autor: Pablo Fandiño | Tutor: Alejandro Trinidad



SÍNTESIS

Par de prótesis realizadas en el marco de un proyecto académico de la universidad ORT, para un perro con doble amputación en sus miembros posteriores. Se utilizaron moldes de ambos miembros y escaneo 3D, a partir del cual se realizaron los modelos para imprimir las prótesis en ABS.

Las zonas internas están recubiertas de neopreno, mientras que las zonas de contacto con el suelo poseen pelotas de tenis. El autor del proyecto afirma que no obtuvo resultados funcionales en el plazo del proyecto debido a que las prótesis no se sujetaban correctamente a las patas del perro.

6. IDEACIÓN DE ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA 1

CONTACTO CON EL SUELO

Resuelto mediante un insumo que pueda ser fácilmente repuesto en caso de desgaste o rotura. Incluye un articulación móvil que contempla los diferentes ángulos en los que el perro apoya su pata durante el movimiento (Ver marco teórico). Dicho insumo podría ser de caucho o un material similar para generar suficiente rozamiento con el suelo.

SUJECCIÓN AL MIEMBRO AMPUTADO

Se propone un socket inspirado en antecedentes de prótesis en humanos, una cavidad acolchonada que contiene completamente al muñón, asegurando la comodidad del mismo. Tiene agujeros que permiten circulación de aire y, eventualmente, agua. Se trata de una pieza independiente al resto de la prótesis, pero que se une a la misma y queda fija durante el ensamblaje. Se ajusta al miembro amputado mediante una serie de correas con velcro.

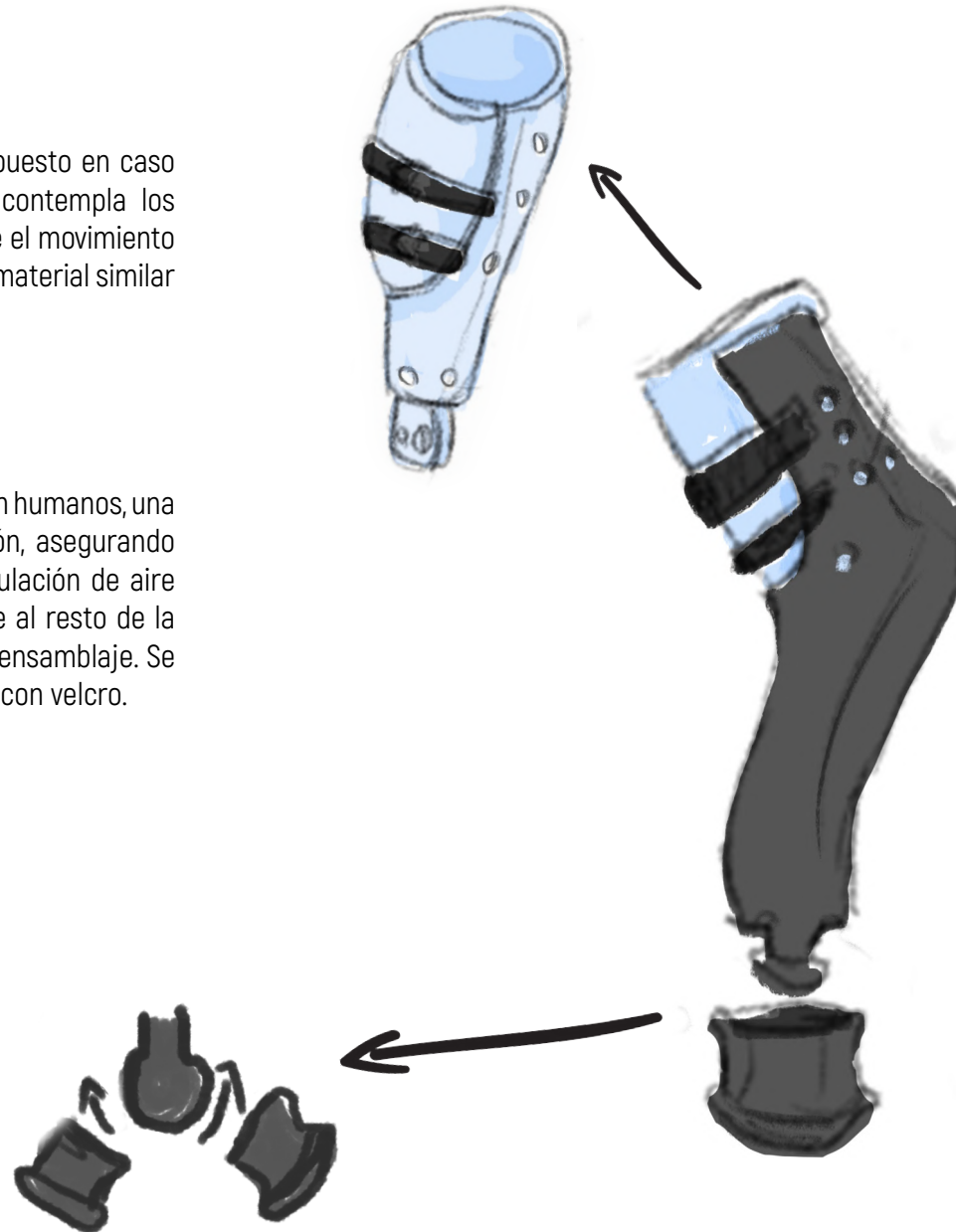


Fig. 1. Bocetos preliminares. Autoría propia.

ALTERNATIVA 2

CONTACTO CON EL SUELO

Dado por una pieza de material flexible que absorba el impacto al andar y genere suficiente rozamiento con el suelo. Se sujeta al resto de la prótesis durante el proceso de ensamblaje. Sus dimensiones y forma buscan simular las almohadillas de los perros, así como también facilitar el impulso con el suelo en diferentes ángulos.

SUJECCIÓN AL MIEMBRO AMPUTADO

En este caso, al igual que en la Alternativa 1, también se recurre al socket. Sin embargo, el mismo se encuentra en el interior de la prótesis, y el ajuste al miembro amputado se da por un sistema de correas que se ajustan desde el exterior.

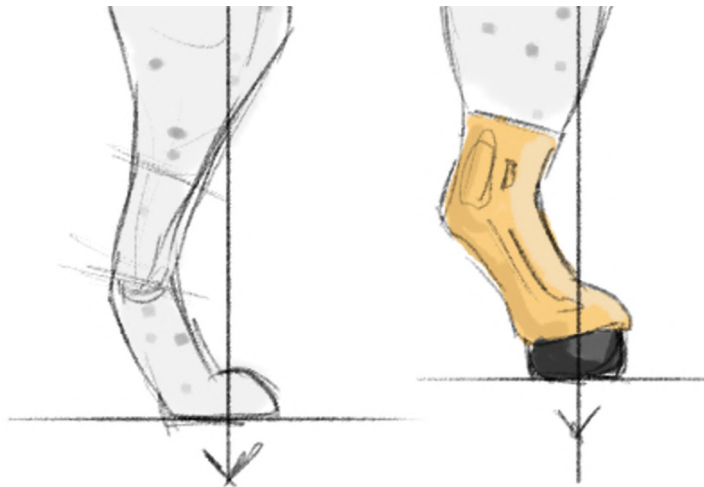


Fig. 2. Bocetos preliminares. Autoría propia.

ALTERNATIVA 3

CONTACTO CON EL SUELO

En esta alternativa, a diferencia de las dos primeras, la amortiguación en el impacto con el suelo se da gracias a la morfología de la prótesis. Para generar mayor fricción con el suelo se plantea el uso de un material con alto coeficiente de rozamiento.

SUJECIÓN AL MIEMBRO AMPUTADO

Se da en ausencia de un socket, la cavidad es recubierta por un material blando para evitar lastimar el miembro amputado. El ajuste al mismo se da por un calado en los laterales que aporta flexibilidad a la pieza y una correa ajustable.



Fig. 3. Bocetos preliminares. Autoría propia.

ALTERNATIVA 4

CONTACTO CON EL SUELO

Al igual que en la Alternativa 3, la amortiguación en el impacto con el suelo se da gracias a la morfología de la prótesis. Asimismo, la forma escogida tiene por objetivo reducir el volumen y el peso de la pieza. Para generar mayor fricción con el suelo se plantea el uso de un material con alto coeficiente de rozamiento.

SUJECIÓN AL MIEMBRO AMPUTADO

Similar a la Alternativa 1, se propone la utilización de un socket, con la diferencia de que el mismo no se sujeta de forma permanente al resto de la prótesis, sino que se mantiene en su lugar por su forma y una serie de correas elásticas.



Fig. 4. Bocetos preliminares. Autoría propia.

6.1. VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS

Luego de generar y diferenciar las cuatro alternativas proyectuales, se le presentaron al Dr. Fumagalli (FVet) en una instancia de intercambio para conocer su perspectiva respecto a las posibles ventajas y desventajas generales de cada una. Posteriormente, se analizaron las fortalezas y debilidades particulares de cada una respecto a las demás, tomando como criterio la tabla de requisitos planteada en la etapa anterior del proyecto, los planteamientos del Dr. Fumagalli y los tiempos proyectuales.

embargo, si la altura es menor el perro debe recurrir a la sobreextensión, afectando la postura de su cadera y columna, además de sus articulaciones y ligamentos, lo cual puede ser muy perjudicial a largo plazo.

4. Ante la eventualidad de que un perro muerda su prótesis, existe la posibilidad de rociarla con algún producto que le genere rechazo (por ejemplo pimienta o limón) para que aprenda que es algo que no debe morder.

RESUMEN DEL INTERCAMBIO CON EL DR. FUMAGALLI

1. A pesar de que como veterinario se mostró a favor de que el agarre del miembro amputado sea parcialmente abierto (como en las Alternativas 1 y 4, es decir, no completamente rígido alrededor del miembro), remarcó que la abertura debe encontrarse en posición caudal respecto al miembro, no craneal como se muestra en los bocetos, debido a la dirección de la fuerza que el perro realiza al caminar.

2. La comodidad del miembro amputado en la zona de contacto con la prótesis es una condición necesaria para que el perro tenga la posibilidad de adaptarse y no generar un rechazo ante la misma. De la mano con esta idea, las superficies suaves que se adapten al miembro parcial brindarán mayor comodidad al animal.

3. Como recomendación general, es preferible que la prótesis dé al miembro amputado una mayor altura que el homólogo, debido a que el perro puede compensar esta diferencia con la articulación de su rodilla. Sin

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
1	Amortiguación y comodidad a nivel del muñón. Posibilidad de sustitución de pieza inferior en caso de rotura. Al ser un insumo facilita su adquisición y presenta un costo bajo en relación a piezas que debieran ser manufacturadas.	Reducida superficie de apoyo, en comparación a las almohadillas del perro. Al utilizarse un insumo, se reduce la posibilidad de responder de forma más enfocada a los requisitos del producto. Complejidad proyectual y productiva respecto a las demás alternativas por incluir una unión móvil que responda a los requisitos del producto.
2	Amortiguación y comodidad a nivel del muñón. Fácil despiece y sustitución de todas las piezas en caso de roturas o desgaste.	Rigidez alrededor del miembro amputado, que podría incomodar al perro en el movimiento. Complejidad del sistema de agarre al miembro, que posiblemente genere dificultad a la hora de colocar la prótesis al perro y retirarla.
3	-	Complejidad de desarrollo formal. Lograr amortiguación a través de la morfología de la pieza, evitando al mismo tiempo roturas, requiere un nivel de conocimientos de física y comportamiento de los materiales que escapan a las posibilidades del proyecto. Se realizaron modelos preliminares sin resultados favorables. En caso de roturas, el dispositivo debe ser sustituido en su totalidad.
4	Fácil higienización del socket, dado que la prótesis no necesita ser desarmada para retirarlo.	Complejidad de desarrollo formal (similares motivos a los especificados para la Alternativa 3).

6.2. ELECCIÓN DE ATRIBUTOS

A partir de la instancia de evaluación, se escogieron los atributos que representaban en mayor medida las fortalezas de cada una de las alternativas, siempre tomando además como referencia las recomendaciones realizadas por el Dr. Fumagalli y buscando responder de la manera más óptima posible a los requisitos anteriormente pautados.

Dichos atributos fueron combinados para dar forma a una nueva alternativa que se desarrollará en mayor profundidad en la próxima etapa del presente proyecto.

ATRIBUTOS ESCOGIDOS

- Presencia de un socket acolchonado que pueda ser fácilmente removible para su higienización.
- Pieza de agarre al miembro amputado parcialmente abierta en la región caudal (Alternativas 1 y 4).
- Pieza inferior de amortiguación removible (Alternativa 2).
- Correa elástica exterior con velcro para la sujeción al miembro amputado.



Fig. 5. Bocetos preliminares. Autoría propia.

7. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO

A partir de la valoración de alternativas y los atributos escogidos, se desarrolló la presente alternativa. Durante este proceso también se realizó una serie de testeos con versiones anteriores para ajustar medidas y detalles funcionales. (Ver Anexos)

A continuación se presentará una descripción general de las características funcionales del producto. Posteriormente se hará foco en los aspectos tecnológicos, como lo son procesos productivos y elección de materiales. Por último se mostrará la secuencia de uso del producto, desde su ensamblaje hasta que el perro pueda utilizarla.



Fig. 1. Imagen del producto desarrollado. Autoría propia.

VISTAS GENERALES DEL PRODUCTO



182



Unidades: mm
Escala: 1:2



Fig. 2. Prótesis en uso. Autoría propia.



Fig. 3. Prótesis en uso. Autoría propia.



Fig. 4. Prótesis en uso. Autoría propia.



Fig. 5. Prótesis en uso. Autoría propia.

7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El dispositivo está conformado por cinco piezas impresas en 3D, unidas mecánicamente entre sí mediante tornillos y tuercas. Cuenta también con una correa elástica, cuya función es sujetarlo al miembro parcial del animal.

Como se muestra en el siguiente diagrama, pueden identificarse tres regiones del producto, acorde a la función que cada una cumple.

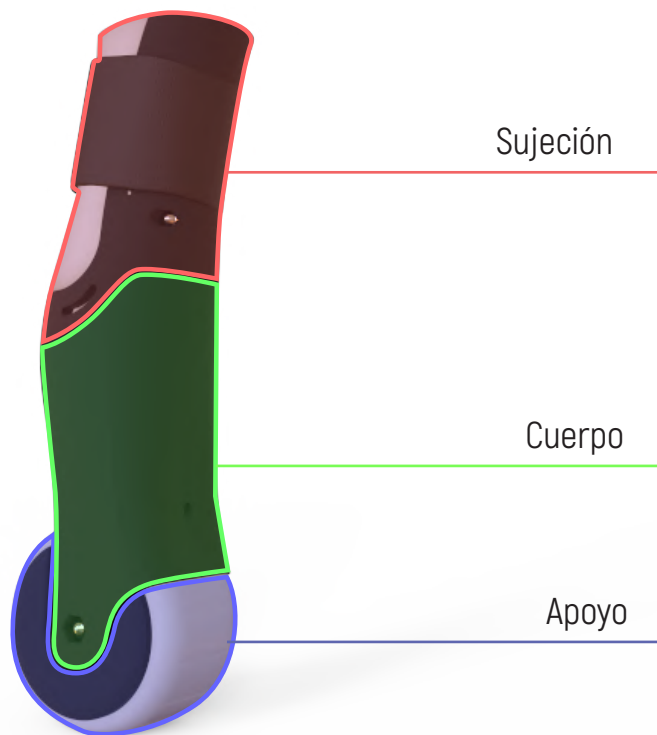


Fig. 6. Regiones del dispositivo. Autoría propia.

SUJECCIÓN

Esta zona es la responsable de la sujeción del dispositivo al miembro del animal. La prótesis cuenta con una pieza diseñada específicamente para adaptarse al miembro amputado del perro: el socket. Posee paredes acolchonadas que se adaptan al mismo sin causar molestias. En su exterior, la prótesis posee una cinta elástica que ajusta el socket al miembro y a las carcasas externas. En su región inferior estas paredes tienen mayor volumen para amortiguar en las zonas que reciben mayor impacto. El material escogido para dicha pieza (TPE) puede convivir con la piel sin generar inconvenientes: no solo no irrita en la zona de contacto, sino que también evita la proliferación de bacterias y hongos.

La pieza cuenta también con una serie de orificios que se conectan con el exterior, para posibilitar el desalojo de fluidos en caso de ingreso de agua, así como una entrada de aire para proporcionar un grado de ventilación al miembro.



Fig. 7. Zona de sujeción. Autoría propia.

CUERPO

El objetivo de esta zona es igualar la altura de la cadera del miembro homólogo tanto como sea físicamente posible para el animal. Es, en esencia, aquello que conecta la sujeción y el apoyo. Evita la hiperextensión de la rodilla en reposo, lo que le da la posibilidad de impulsarse mediante su extensión.



Fig. 8. Prototipo del producto colocado por primera vez. Autoría propia.

APOYO

La región de apoyo posee una forma cilíndrica que responde al movimiento del pie durante el andar. Busca que el perro pueda apoyar el pie e impulsarse en diferentes ángulos, cumpliendo en cierta medida el movimiento de las falanges y metatarso. Esta zona se compone de dos piezas: un eje y una pieza de apoyo exterior.

Debido a las características del material escogido, la pieza de apoyo exterior también absorbe parte del impacto resultante del movimiento y genera rozamiento suficiente como para que el animal pueda caminar en superficies lisas sin resbalarse (baldosas, madera, etc.). De esta forma pretende simular las almohadillas presentes en las patas de los perros.

A su vez, esta zona carece de elementos que pudiesen lastimar al perro en el caso de que le surgiese el reflejo de rascarse con su miembro amputado.

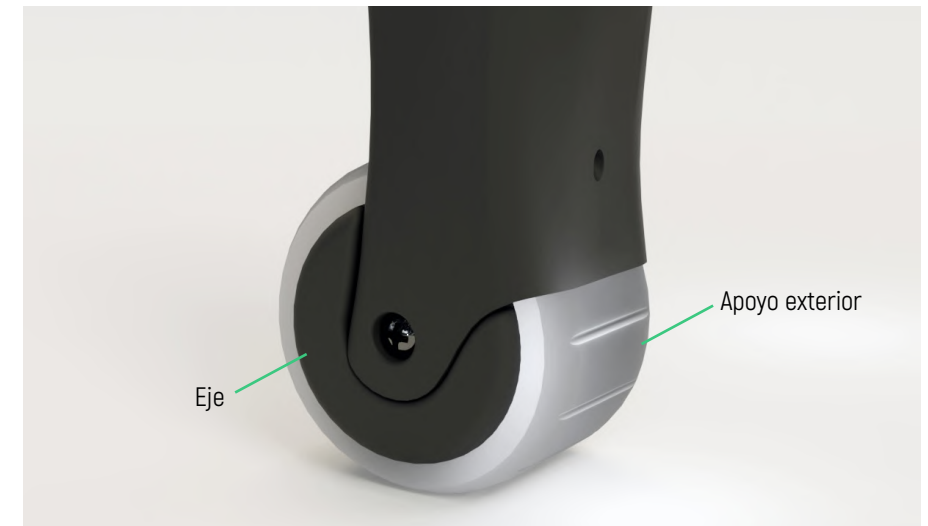


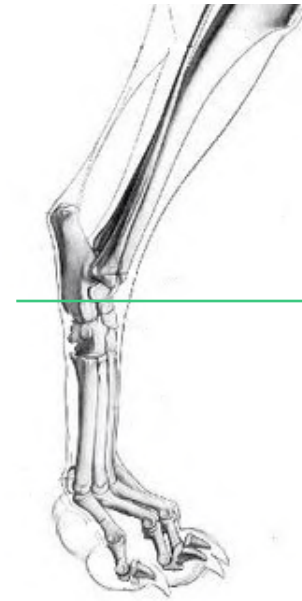
Fig. 9. Zona de apoyo del dispositivo. Autoría propia.

7.2. CORRELACIÓN ENTRE MEDIDAS DEL PACIENTE Y SU PRÓTESIS

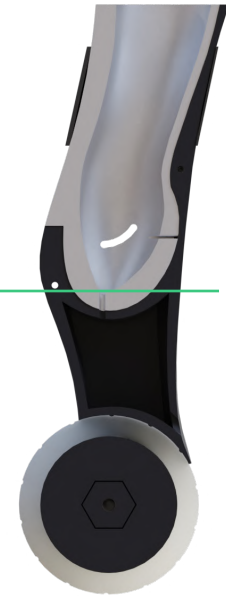
Previo a la elaboración del modelo, se relevaron algunas medidas del paciente, además de tomarse un molde del miembro amputado (aspecto que se desarrolla en el capítulo 9). A continuación se muestra como dichas medidas se traducen directamente en las dimensiones del dispositivo.



1. Ancho de la región falángica. Determina el ancho de la zona de apoyo de la prótesis.



2. Altura de la zona amputada, medida tomada en el miembro homólogo (no amputado). Determina la altura del punto sobre el que el miembro amputado reposará sobre la prótesis.





3. Perímetros del miembro amputado. Se miden para corroborar las medidas del molde obtenido (ver capítulo 9); definen las dimensiones internas del socket.

7.3. COMPONENTE TECNOLÓGICO

TABLA DE COMPARACIÓN PRELIMINAR DE MATERIALES

	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	RESISTENCIA A IMPACTOS	TOXICIDAD	RESISTENCIA A FACTORES CLIMÁTICOS	CARACTERÍSTICA ESPECÍFICA
PLA					Biodegradable
ABS					
PA CF					Biodegradable
PCL					
PET					
PETG					
PVA					Soluble en agua
ASA					Resistencia a radiación UV
HIPS					Soluble en D-Limoneno
TPE					Flexible, previene el desarrollo de hongos y bacterias
TPU					Flexible

Esta tabla enumera y evalúa los diferentes filamentos plásticos presentes en el mercado según cuatro características. Las mismas responden a importantes requisitos del proyecto.

Además de esto, se agrega una columna que destaca las particularidades de los filamentos que tienden a distinguirlos de los demás.

La escala de colores escogida identifica el grado en el que la calidad de cada material es superior o inferior acorde a cada característica. De esta forma, el color verde puede indicar por ejemplo un alto nivel de resistencia a la abrasión o un bajo nivel de toxicidad.

Calidad inferior  Calidad superior

ELECCIÓN DE MATERIALES

A partir de la tabla anteriormente planteada, fueron escogidos para un análisis más en profundidad los filamentos que se adecuan en mayor medida a los requerimientos del proceso. Los mismos son TPE, para las piezas flexibles, y ASA, para las piezas rígidas.

TPE (Thermoplastic elastomer)

Es un polímero flexible de baja dureza (85A en la escala de Shore), utilizado en productos para proporcionar un agarre cómodo, así como en productos que entran en contacto con alimentos e incluso con el cuerpo humano. A pesar de que 85A es una dureza considerable cuando el material conforma un volumen macizo, pueden obtenerse piezas mucho más suaves y acolchonadas al tacto mediante el uso de rellenos moderados en la impresión 3D. Es por estos motivos que se trata de un material adecuado para las piezas del socket y del apoyo sobre el suelo.

ASA (Acrylonitrile styrene acrylate)

Se trata de un plástico de ingeniería, conocido por tener propiedades mecánicas similares al ABS, con la ventaja de tener un grado considerable de protección contra radiaciones UV. Dicha cualidad es especialmente favorable para la realización de piezas que estarán expuestas al Sol (en mayor o menor medida), atendiendo una necesidad particular del caso de referencia. Algunas de sus aplicaciones incluyen elementos de jardinería e industria automotriz por su buen desempeño ante altas temperaturas y elementos climáticos. En casos en los que este atributo no es necesario, el ASA puede ser sustituido sin ningún inconveniente por ABS por su menor costo.

La siguiente tabla compara algunos indicadores y módulos de desempeño del ASA con los del PLA (el material más comúnmente utilizado en el campo de la impresión 3D).

	PLA	ASA
Fuerza tensil (MPa)	65	50
Elongación en la rotura	8%	30%
Fuerza de impacto en ensayo Izod	4 kJ/m ²	19 kJ/m ²

ELECCIÓN DE RELLENO ESTRUCTURAL: GYROID

El gyroid es una estructura que puede encontrarse naturalmente en la naturaleza, por ejemplo en las alas de las mariposas y membranas de algunas células. Una investigación de la MIT del año 2017 reveló que cuando el grafeno toma esta estructura, obtiene propiedades mecánicas superiores en baja densidad respecto a otras estructuras. Este principio aplica también a otros materiales, incluidos los plásticos.

Aplicado como relleno estructural en impresión 3D, el gyroid demuestra una variedad de ventajas sobre otros tipos de relleno. Resulta una estructura que, en igual cantidad de material, obtiene propiedades mecánicas superiores y tiempos de impresión menores que otras estructuras. En esencia, es más eficiente en la utilización de material, lo cual permite aliviar piezas sin sacrificar aspectos mecánicos necesarios.

El gráfico a continuación muestra comparativamente la resistencia a la compresión de varios tipos de relleno estructural en sus ejes perpendiculares y transversales al plano de impresión.

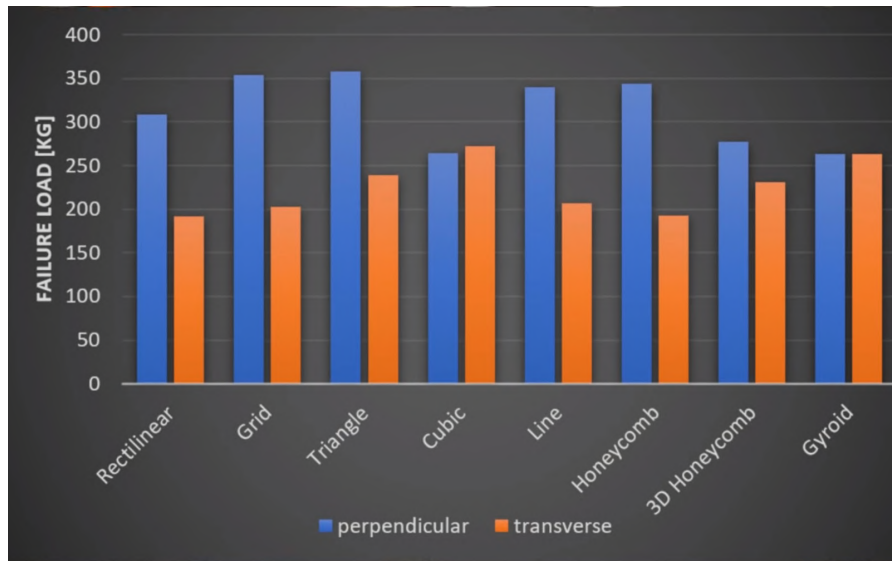


Fig. 10. Gráfico comparativo de rellenos estructurales. Extraído de: www.youtube.com/cnckitchen

Aplicado en materiales no rígidos como el TPE, la estructura de gyroid aporta flexibilidad a las piezas en todos sus ejes. Esto se traduce en un socket confortable que responde correctamente a todos los esfuerzos a los que es sometido (perpendiculares y transversos), y una pieza de apoyo que puede ser apoyada en cualquier dirección sin inconvenientes.

CONFIGURACIONES DE IMPRESIÓN

PIEZAS DE ASA

Altura de capa: 0.28mm

Grosor de pared: 1.32mm

Perímetros: 3

Relleno: Gyroid 15%

Temperatura de impresión: 250°C

Temperatura de superficie: 110°C

Velocidad de impresión: 50

Velocidad de ventilador: 0%

Soportes: Sí

PIEZAS DE TPE

Altura de capa: 0.2mm

Grosor de pared: 0.8mm

Perímetros: 2

Relleno: Gyroid 35% (Apoyo) y
20% (Sujeción)

Temperatura de impresión: 210°C

Temperatura de superficie: Ninguna

Velocidad de impresión: 30

Velocidad de ventilador: 100%

Soportes: Sí

UNIONES

El dispositivo cuenta con uniones mecánicas no permanentes para permitir que la prótesis sea desarmable en su totalidad y permita el reensamblaje de las piezas cuando es debido.

Estas uniones consisten en tornillos cabeza Allen y tuercas ciegas que unen los dos hemisferios de la prótesis en puntos clave. El tornillo que se sitúa en el eje inferior es el que debe resistir la mayor parte del esfuerzo por lo que es dos veces más grande que el resto, que tan solo cumplen la función de unir las piezas.

Los alojamientos que reciben estos insumos indican morfológicamente el hemisferio que recibe los tornillos y el que, en contraparte, recibe las tuercas. A su vez, facilitan la colocación de las tuercas para que no giren al unirse con los tornillos.

Las tuercas ciegas, además de facilitar la colocación de los tornillos, cubren los extremos de los mismos.



Fig. 11. Vista lateral del dispositivo; posición de tornillos. Autoría propia.



Fig. 12. Detalle de unión en zona de apoyo. Autoría propia.



Fig. 13. Detalle de unión; tuerca ciega. Autoría propia.

7.4. SECUENCIA DE USO | ATRIBUTOS DE USABILIDAD

0 Ensamblaje de la prótesis

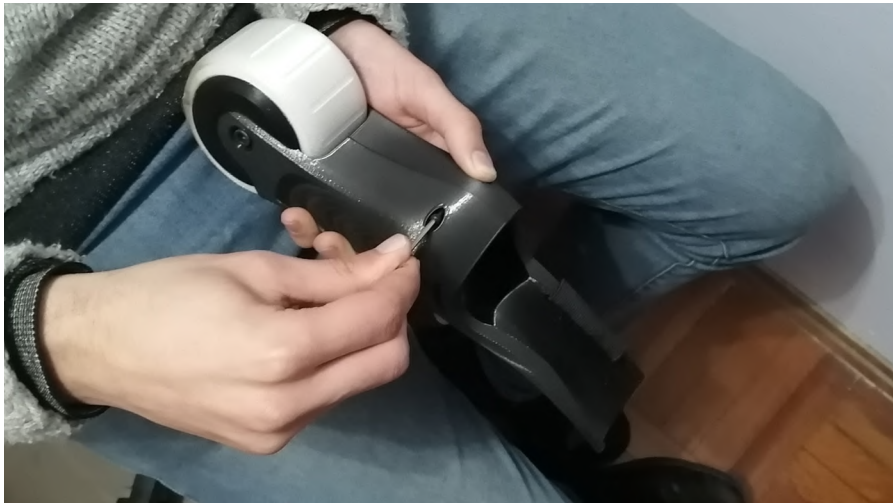


Fig. 14. Ensamblaje del dispositivo. Autoría propia.

A pesar de que no sea una acción que deba realizarse regularmente, el dispositivo es fácilmente armable y desarmable con la ayuda de dos llaves Allen. Ninguna de las uniones son permanentes, por lo que puede ser completamente desarmado. Esto permite que en caso de roturas las piezas puedan sustituirse en forma individual sin necesidad de desechar la prótesis en su totalidad. Asimismo la pieza de apoyo puede ser girada y utilizada en diferentes posiciones en caso de desgaste, prolongando así su vida útil.

Para una referencia detallada del proceso de ensamblado, ver el flujo productivo en la carpeta técnica.

1 Colocación de la media



Fig. 15. Colocación de la media. Autoría propia.

Es lo suficientemente elástica como para amoldarse al miembro parcial del perro. Mejorará la sujeción de la prótesis, además de incrementar la sensación de comodidad para el perro, dado que absorbe la humedad que pueda generarse, además de proteger la piel ante posibles roces.

2 Colocación del socket



Fig. 16. Colocación del socket. Autoría propia.

El mismo tiene una ranura en su cara frontal, que permite su abertura parcial y colocación. Esto ofrece una experiencia sencilla para el usuario y no estresante ni molesta para el perro.

3 Colocación del cuerpo de la prótesis



Fig. 17. Colocación de la prótesis. Autoría propia.

La parte interna de las carcassas es complementaria a la del socket, por lo que encastran entre sí. Asimismo, la zona de la abertura del socket parte del mismo volumen que la de las carcassas, lo cual da una sensación de continuidad e indica al usuario cómo unir ambas piezas.

4 Asegurar la prótesis al miembro



Fig. 18. Ajuste del elástico. Autoría propia.

El dispositivo cuenta con un elástico que sujeta las carcasas al socket, al mismo tiempo que ejerce una leve presión alrededor del miembro para que ninguna de las piezas se mueva durante la caminata. Para fijar el elástico, el usuario debe tensarlo y asegurarlo mediante una pieza de velcro.

USO COTIDIANO



Fig. 19. Prótesis en uso. Autoría propia.

8. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL CASO

Durante el proceso de desarrollo del dispositivo, se realizó una serie de evaluaciones para corroborar que sus características cumplieran los requisitos planteados en un inicio para el producto, y que todas las dimensiones fueran adecuadas para el perro. Para observar en detalle estas tres instancias, dirigirse a Anexos.

Como generalidad, hay dos elementos fundamentales a los que se debe prestar atención para evaluar la correcta adecuación de la prótesis al paciente:

LA ALTURA DE LAS CADERAS

Ambas deberían quedar alineadas horizontalmente cuanto más sea posible.

LA FLEXIÓN DE LAS RODILLA DEL MIEMBRO AMPUTADO

Aunque en cada raza de perro el grado de flexión en reposo varía, es el veterinario quien debe constatar si el mismo es correcto. Cabe mencionar que es preferible un grado de flexión mayor respecto al normal que uno menor, en el que la pierna quede hiperextendida.

En caso de que las alturas mencionadas no sean las correctas en una primera instancia, se puede realizar una nueva impresión del cuerpo de la prótesis con el ajuste correspondiente.

Como generalidad, es posible afirmar que el dispositivo se adapta a las características generales y particulares del caso representativo. Desde la perspectiva de la Dra. Da Silva, el proyecto representa una gran mejora en el potencial bienestar de perros con las características de Ruffus, así como en su calidad de vida a mediano y largo plazo. La continuidad en el uso de la prótesis podrá reflejarse de forma positiva en su postura y en la prevención de posibles patologías provocadas por la falta de su miembro que, de otra forma, podrían generar mucho dolor e incluso acortar su expectativa de vida.

Es fundamental entender estas mejoras como el resultado de la utilización constante del dispositivo, y el correcto acompañamiento por parte de veterinarios y dueños.

RECOMENDACIONES DE SEGUIMIENTO Y REHABILITACIÓN

En general, conlleva un proceso de aprendizaje y adaptación para un perro lograr caminar con prótesis luego de la pérdida de un miembro podal. Por este motivo, es recomendable realizar un plan de adecuación progresiva de la mano de un veterinario.

En un comienzo se recomienda que el perro utilice la prótesis durante unos 20 minutos cada día, como forma de que comience a comprenderla y acostumbrarse a cómo se siente. También resulta prudente realizar esta primera etapa en lapsos cortos de tiempo para no lastimar la piel de la zona. Además, en casos similares al representativo en el que existe hipotrofia, la acción de caminar implicara ejercitar músculos subutilizados, por lo que deben desarrollarse poco a poco. Es recomendable también que, durante esta primera etapa, se estimule la caminata llevándolo con ayuda de una correa y premiándolo como refuerzo positivo.

A medida que se observen resultados favorables en este proceso, el tiempo de utilización de la prótesis cada día podrá ir aumentando. A mediano y largo plazo el objetivo es que el perro beneficiarse de utilizar la prótesis durante todo el día, mientras se encuentre activo.

9. METODOLOGÍA DE ADAPTACIÓN A CASOS SIMILARES

INTRODUCCIÓN

A pesar de que el proyecto se enmarca en el contexto de un caso representativo, puede cobrar un mayor valor haciendo posible su adaptación a casos de similares. Esto puede lograrse mediante una serie de variables definidas (medidas del animal) y la aplicación de una metodología de trabajo con etapas bien definidas.

Algunas tecnologías existentes hoy en día (las mismas que fueron aplicadas a lo largo del proyecto), aportan a la simplificación del proceso de diseño de productos a medida. Brindan además la posibilidad de diseñar en forma remota para personas que no necesariamente se encuentran físicamente cerca: este aspecto amplía de forma considerable los horizontes que pueden llegar a ser abarcados.

A continuación se detallan todas las etapas de la metodología de trabajo utilizada para el desarrollo del producto, pensada para poder ser replicada como se mencionó anteriormente.

Previo a comenzar el proceso se debe determinar si el animal puede efectivamente beneficiarse del uso de una prótesis para sustituir su miembro faltante. Para esto es recomendable realizar una evaluación veterinaria con un especialista. Las variables más importantes a evaluar son:

SENSIBILIDAD DEL MIEMBRO AMPUTADO

La situación ideal es que el perro no sienta dolor ni molestias en la zona amputada. De lo contrario, si siente mucho dolor, la prótesis podría no ser de ayuda en absoluto. En el caso de que el perro sienta algunas molestias -no un dolor muy intenso- existe también la alternativa de vendar la zona para protegerla.

CONDICIÓN FÍSICA DEL PERRO

Lo ideal es que se trate de animales que hayan perdido su miembro hace poco tiempo. De esta forma se evita lo más posible que el perro desarrolle deformaciones y patologías del sistema locomotor como consecuencia de la falta de apoyo. En perros que nacieron con una malformación o perdieron un miembro muy pequeños, el tratamiento debería comenzar cuánto más pronto sea posible, de forma que aprendan la acción de caminar antes de alcanzar la adultez, etapa en la cual les será más difícil aprender.

De cumplir con las condiciones mencionadas, se puede comenzar con el proceso de adaptación del diseño al caso particular siguiendo los pasos que se presentarán a continuación.

1. Generar una ficha de paciente

Es importante conocer las características particulares del caso para la correcta adaptación del dispositivo, así como para estimar resultados y comportamientos que puedan esperarse. (Ver Anexos)

INFORMACION Y CONTACTOS

INFORMACION DEL DUEÑO

NOMBRE:

EMAIL:

CELULAR:

INFORMACION DEL VETERINARIO TRATANTE

NOMBRE:

EMAIL:

CELULAR:

CLÍNICA:

DIRECCIÓN DE CLÍNICA:

FOTOS GENERALES

FRONTAL

IZQUIERDA

TRASERA

DERECHA

FICHA DE PACIENTE

NOMBRE:

EDAD:

PESO:

RAZA:

TEMPERAMENTO:

CONTEXTO:

AMPUTACIÓN:

DIAGNÓSTICO:

FOTO

FOTO de paciente

TOMA DE MEDIDAS

PESÍMETROS:

OTRAS DIMENSIONES:

h*

2. Generar un modelo 3D del miembro amputado

Inicialmente se debe tomar un molde de la pata del animal. Se recomienda realizar este paso con el animal sedado, con asistencia de un médico veterinario. El contramolde puede tomarse con alginato dental, para luego realizar el molde mediante colada de yeso, o materiales similares.

Habiendo obtenido el molde, se genera una copia digital utilizando la tecnología de escaneo 3D. Durante este paso es fundamental tener sumo cuidado en el movimiento del escáner para que el modelo sea lo más fiel posible al molde de yeso. Es fundamental que el material del molde y la superficie donde se apoye durante el escaneo carezcan de brillo; de lo contrario, los cambios en la luz podrían afectar en forma notoria el modelo 3D.



Fig. 1. Toma de molde. Autoría propia.

Existen otras técnicas para realizar la toma del molde de la pata, como por ejemplo generar un contramolde con yeso y vendajes. La elección de la técnica depende de quién la realice y qué tan hábil sea en la misma.



Fig. 2 y 3. Escaneo de molde. Autoría propia.



3. Generar un modelo 3D de la prótesis

Tomando como base el modelo obtenido en la etapa anterior, se desarrolla el del dispositivo, obteniendo piezas hechas ajustadas al miembro faltante; a este modelo se incorporan las medidas tomadas durante la etapa 1 (Ficha de paciente).

Durante este proceso se utiliza software de modelado paramétrico, permitiendo fácilmente la adaptación de la geometría al reingresar datos según el caso particular. Para el presente proyecto se utilizó Autodesk Fusion 360; otros ejemplos son Autodesk Inventor, Solidworks, Rhinoceros/Grasshopper, entre otros.

Para ver los pasos detallados de este proceso dirigirse a Anexos.

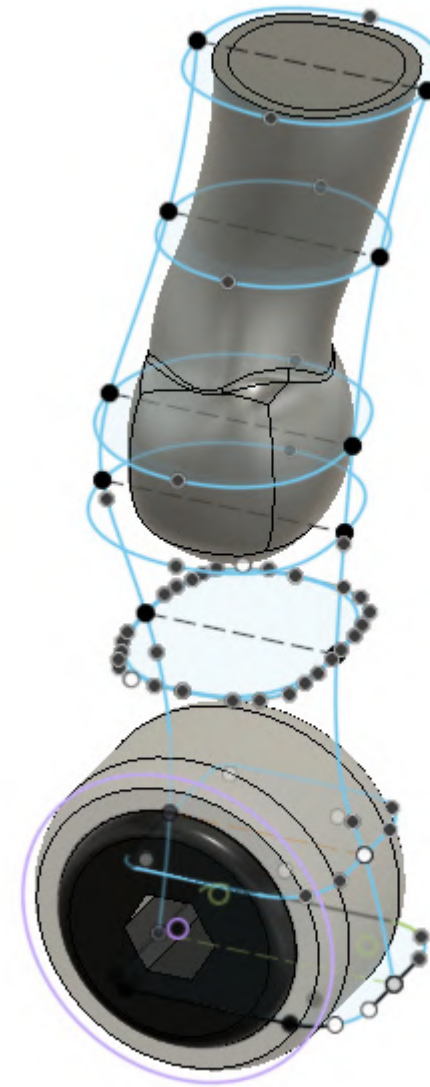


Fig. 4. Generación de modelo 3D. Autoría propia.

10. COMPONENTE FINANCIERO

PÚBLICO OBJETIVO

Personas que poseen perros con miembros parciales, y que desean buscar una mejora en la calidad de vida de su mascota a largo plazo. En principio se apunta a personas que se encuentran dentro del territorio uruguayo.

ESTRUCTURA DE COSTOS

Dadas las características del producto, los costos se dividen en tres secciones:

- 1.** Costos de diseño. Abarcan el costo en horas que toma modelar la prótesis adaptada a un caso particular, tomando como guía la metodología de modelado generada en el presente proyecto, además de tiempo de administración del caso e intercambio personal en cada caso particular.
- 2.** Costos materiales. Incluyen los costos de todos los insumos y materiales utilizados para el producto en el caso tratado a lo largo del proyecto. Se trata de un costo que puede variar mucho dependiendo de cada caso, debido a que cuanto más grande sea un perro, más grande será la prótesis. Por este motivo se utilizará más cantidad de plástico, uno de los materiales más costosos. También se debe destacar que los precios de los filamentos de impresión 3D varían en relación directa al precio del dólar.
- 3.** Costos de producción. Involucran los costos de todos los procesos productivos materiales involucrados en la fabricación del dispositivo. Al igual que los costos materiales, dependen en gran medida del caso particular, ya que en perros de menor porte los tiempos de impresión serán significativamente menores al caso actual.

La planilla a continuación detalla todos los componentes que integran los costos del producto en cada una de las secciones especificadas anteriormente. Todos ellos responden al caso de referencia que se desarrolló a lo largo del proyecto (Ruffus, dogo argentino). Para este caso, el costo total del producto es de \$U7770.

Cabe destacar que, como se mencionó anteriormente, algunos de los costos pueden variar en gran medida dependiendo del porte del perro para el que se produce la prótesis. Podemos estimar que como punto de partida (para un perro de porte pequeño- similar a un caniche, bulldog francés, pomeranian, etc.) el costo podría rondar alrededor de los \$U4300.

	Cantidad por unidad	Costo unitario (\$U)	Costo total por unidad (\$U)
COSTOS DE DISEÑO			
Modelado 3D (h)	5	400	2000
Administración del caso (h)	2	400	800
SUBTOTAL			2800
COSTOS MATERIALES			
ASA (g)	314	2.2	690.8
TPE (g)	166	2.6	431.6
Velcro 5cm de ancho (m)	0.1	75	7.5
Elástico 5cm de ancho (m)	0.44	75	33
Tornillo M3 x 30mm	2	17.5	35
Tornillo M6 x 45mm	1	20.5	20.5
Tuerca ciega M3	2	9.3	18.6
Tuerca ciega M6	1	11.8	11.8
Tela de algodón (m2)	0.05	120	6
SUBTOTAL			1254.8
COSTOS DE PRODUCCIÓN			
Impresión de ASA (h)	17.25	100	1725
Impresión de TPE (h)	18	160	1800
Preparación de archivos para impresión (h)	0.2	400	80
Confección de elástico/velcro (h)	0.2	200	40
Confección de media (h)	0.2	200	40
Ensamblaje (h)	0.15	200	30
SUBTOTAL			3715
TOTAL			7769.8

11. CONCLUSIONES

Luego de culminar el proceso de diseño del presente dispositivo y con apoyo y validación de la Dra. Da Silva, podemos concluir que el producto generado responde a la mejora de la calidad de vida de perros con las características del caso escogido, cumpliendo así con el objetivo general y los objetivos específicos planteados al inicio del proyecto.

Un aspecto que responde directamente a esta idea es la metodología de adaptación del dispositivo. A pesar de que cada caso posee cualidades específicas que pueden diferenciarse de otros (raza, tamaño, morfología del miembro, contexto en el que vive, etc.), el dispositivo como tal responde a aquello que todos tienen en común: las características de su amputación. De este modo, no resulta necesario desarrollar una solución para cada caso particular, sino meramente adaptarla con ayuda de una serie de pautas y procesos previamente definidos.

El modelado 3D paramétrico y las herramientas de fabricación digital son también grandes aliados a la hora de facilitar el proceso de diseño y adaptación del dispositivo. Si nos referimos en concreto a la impresión 3D, podemos afirmar que se trata de un recurso que abre un gran abanico de posibilidades para este tipo de productos. No solo se trata de un proceso que se adapta a las diferencias morfológicas de cada caso, sino que también ofrece una amplia gama de materiales con propiedades que pueden satisfacer las más diversas necesidades (materiales rígidos y flexibles, con diferentes grados de resistencias mecánicas, entre otras).

Otra fortaleza de este sistema productivo (y de la fabricación digital en general) es que posibilita que cualquier persona con acceso a servicios de impresión 3D pueda producir partes enviadas en formato digital por un tercero. En este sentido, las características del presente proyecto podrían permitir su expansión a un modelo de negocios basado en ese principio, ampliando su alcance a territorios más allá del uruguayo.

Otro aspecto a resaltar respecto al proyecto es el impacto que la mejora en la calidad de vida de los perros puede tener sobre sus dueños en el plano afectivo. A lo largo del proceso de adaptación del perro a la prótesis, es fundamental que el dueño esté a su lado para acompañarlo y enseñarle; este proceso de aprendizaje se convierte en un estímulo para el vínculo entre ambos. Asimismo, resultará gratificante observar poco a poco una evolución positiva en el bienestar del animal.

Con respecto al caso de estudio, podemos afirmar que parte de las hipótesis planteadas en el punto 5.5 se cumplieron de hecho en el curso del proyecto: el perro no rechazó el dispositivo y, por el contrario, intentó utilizarlo a su favor desde un principio. Respecto a la disminución en sus posturas viciosas, apoyándonos en la validación profesional brindada por la Dra. Da Silva, podemos esperar que, mediante la continua utilización de la prótesis, se obtengan resultados favorables a mediano y largo plazo.

Como reflexión final, consideramos que a lo largo del desarrollo del proyecto se puede percibir el rol del diseñador como mediador entre disciplinas diversas (en este caso veterinaria y diseño) con el objetivo de resolver problemáticas de diversos campos del conocimiento.

El diseño es una disciplina que tiene como foco central a las personas. Este proyecto no es la excepción, pese a que el usuario primario del producto no es un ser humano. A través del mismo se busca atender de manera indirecta una serie de necesidades humanas mediante la búsqueda del bienestar de un animal en el que tanto hemos depositado a lo largo de la historia. En este sentido, el proyecto representa una oportunidad de mercado a nivel local, atendiendo una serie de necesidades actualmente insatisfechas.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bürdek, B. E., [1992], *Diseño: Historia, teoría y práctica del diseño industrial*, Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili

Adams, D. R., [1986], *Anatomía canina: estudio sistémico*, Zaragoza, España: Editorial Acribia.

Leyton, F., [2015], *Estudio y caracterización de las variables que afectan a la impresión 3D en la generación de objetos manipulables* (Proyecto de investigación). FADU/Udelar, Montevideo, Uruguay.

Aikman, S., McGee, J., Powell, B., Godard, J. & Meile, A. [2017], *Puppy Prosthetic: Custom 3D printed Dog Prosthetic*.

Bachman, N., Lasso, M., Olaode, O., Walfield, E. & Al Zuhairi, M. [2017], *Design of a Prosthesis for Canines with Front Limb Deformities* (Tesis de grado en Ciencias). Worcester Polytechnic Institute, Worcester, EEUU.

Wendland, T., Seguin, B., & Duerr, F. [2019], *Retrospective Multi-Center Analysis of Canine Socket Prostheses for Partial Limbs*.

Fandiño, P., [2016], *Prótesis 3D* (Proyecto de grado en Diseño Industrial), Universidad ORT, Montevideo, Uruguay.

Rubio, A. G., [2011], *Diseño de órtesis económica para perros con displasia de cadera, con tecnología disponible en el contexto guatemalteco* (Proyecto de grado en Diseño Industrial). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

13. ANEXOS

13.1. CONTEXTO DEL PROYECTO



Fig. 1. Ruffus. Autoría propia.

CARACTERÍSTICAS Y CONTEXTO DE LA AMPUTACIÓN

Ruffus nació en un criadero de perros; inmediatamente luego de dar a luz, su madre atacó a todos sus cachorros. Como resultado, Ruffus perdió parte de su pata trasera derecha. Luego de una intervención quirúrgica, las regiones de su pata que no pudieron ser salvadas fueron la tarsiana y metatarsiana inclusive. Sin embargo, dado que el resto del miembro pudo ser salvado, se procuró generar una callosidad importante en la zona de amputación, de manera que no sintiese dolor al apoyarlo.

Dado que el miembro amputado es menos utilizado, la musculatura en la zona tiene un grado de desarrollo mucho menor que en el miembro homólogo. A pesar de que nunca caminó con su pata derecha, se puede observar en muchas ocasiones que Ruffus mueve la articulación de la rodilla en dicho miembro, como si intentara apoyar un miembro fantasma, característica que podría resultar ventajosa en un futuro proceso de rehabilitación.



Fig. 2. Miembro amputado de Ruffus. Autoría propia.



Fig. 3. Contexto de Ruffus. Autoría propia.

CONTEXTO

Ruffus vive con Hugo, su dueño, en una casa en la zona del peaje del arroyo Solís, situada en un gran terreno cubierto de tierra y pasto que cuenta, entre otras características, con un pequeño tajamar en el que suele nadar cuando hace calor. Comparte este espacio con cinco perros más: Greta, Zaira, Brownie, Lizzie y Ruth; Ruffus es el más joven. Todos mantienen una buena relación.

Cuando no está jugando, Ruffus disfruta de echarse en el pasto con una rama o un hueso para mascar y, a pesar de que al moverse se cansa rápidamente, reacciona cuando escucha un vehículo pasar y comienza a correr de inmediato.

Pasa gran parte de su tiempo afuera, aunque suele ir adentro para dormir y descansar en el suelo o el sillón, en especial en épocas de temperaturas extremas. No es raro ver a Ruffus apoyar parte de su peso (si no todo por completo) sobre alguno de los demás perros e incluso sobre personas, como forma de descansar su pata izquierda durante algunos instantes.

13.2. FICHAS DE ANTECEDENTES

SOCKET AJUSTABLE REVOFIT



MATERIALES | Thermolyn Suprasoft® y fibra de carbono.

OBSERVACIONES | El socket que puede ser graduado manualmente por el usuario para adaptarse a las necesidades de las tallas cambiantes de su muñón durante el día. En su diseño estos encajes ajustables presentan diferentes paneles situados en sus puntos críticos de presión. Estos pueden ser ajustados por medio de un sistema de cierre BOA, una perilla que permite ajustar los paneles para aplicar mas o menos presión.

PUPPY PROSTHETIC

CUSTOM 3D PRINTED DOG PROSTHETIC

AUTORES | Susan Aikman, James McGee, Brandon Powell,
Jessica Godard, Ally Meile

TUTOR | Thomas Bitter

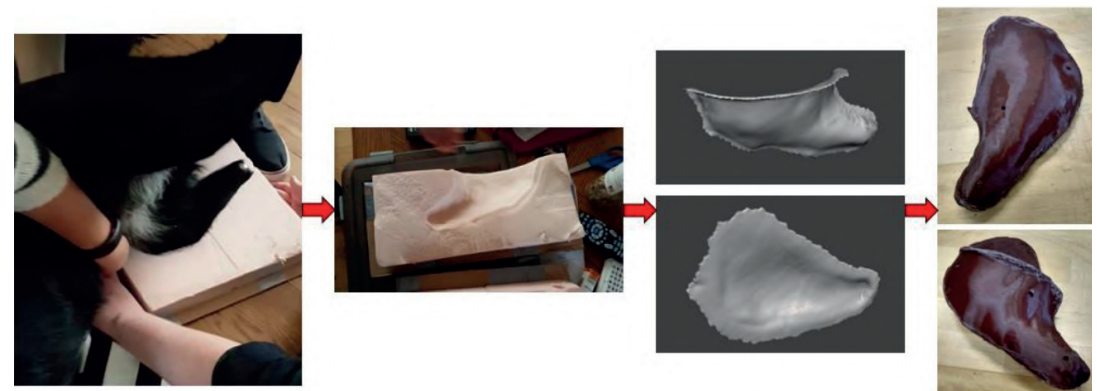
PACIENTE | Cruza de pastor alemán con labrador, 4 años, 25 kilogramos.

TIPO DE AMPUTACIÓN | Pata trasera derecha, amputación en la mitad de la tibia

OBSERVACIONES | Dado que la amputación no fue realizada correctamente, no se agregó tejido extra en el muñón lo que hace que el animal sienta dolor al poner mucho peso sobre el mismo, por lo que el equipo de diseño decidió generar una ortesis que recubre el muslo asegurado por un arnés, para aliviar la mayor cantidad de dolor al aplicar el peso.

La prótesis está realizada en módulos para tener la posibilidad de cambiar el modelado de algunas piezas o por si una de estas se rompe. Los filamentos utilizados son : PLA para las partes rígidas y TPU (flexible) para la sección del apoyo y la ortesis de muslo usando un relleno de 15 a 20%.

Para la realización de la ortesis (unión de contacto de la prótesis con la pierna) se realizó un molde del miembro utilizando "bio-impression foam" un material utilizado por podólogos para hacer moldes de pies. Este molde fue previamente sometido a un scanner 3D para generar un modelo 3D fiel a la forma, para luego imprimir la ortesis



DESIGN OF A PROSTHESIS FOR CANINES WITH FRONT LIMB DEFORMITIES

AUTORES | Norma Bachman, Melanie Lasso, Oluwajomiloju Olaode, Elizabeth Walfield, Mushtaq Al Zuhairi
TUTORES | Tiffany Butler y Karen Troy



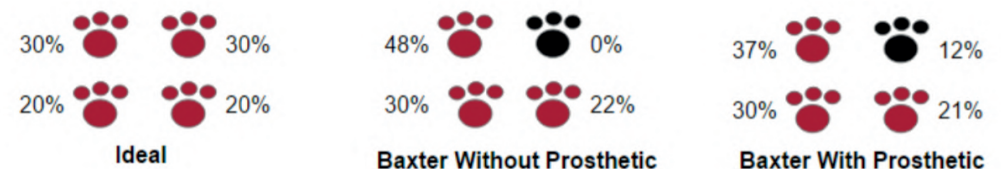
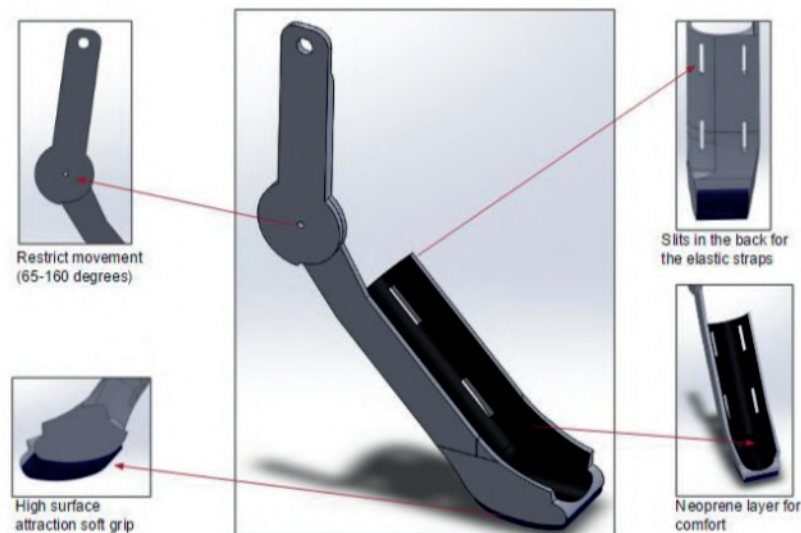
PACIENTE | Baxter, perro salchicha

PATOLOGÍA | Condrosplasia, un desorden genético que afecta el largo de las patas delanteras.

OBSERVACIONES | El proyecto tiene en cuenta todos los aspectos que deberían ser abordados en la realización de una prótesis, incluyendo anatomía, biomecánica, rehabilitación, costo, materiales entre otros.

Como material final para la carcasa se utilizó Nylon Copolymer; para el interior de la prótesis se utiliza una capa de neopreno para que sea más cómodo para el perro ya que en este caso el perro aún conserva la pata entera. Para la unión con el miembro se utilizó un arnés con elástico y velcro.

Previamente a la realización de la prótesis se realizan estudios para validar el diseño. Se destaca un estudio de la distribución del peso en las cuatro patas con y sin prótesis.



RECUPERADO DE | <https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-042717-151238/unrestricted/MQPRReport.pdf>

BIONIC PETS



DESCRIPCIÓN | Empresa situada en el estado de Virginia, EEUU, fundada por Derrick Campana, con el propósito de crear prótesis y órtesis a medida para una amplia variedad de animales en cualquier parte del mundo: perros, gatos, caballos, cabras, vacas, cobayos, aves, entre otros.

CÓMO FUNCIONA| 1. Se completa un formulario online con información relevante acerca del animal y se envían fotografías que muestren correctamente su caso.
2. Luego de entablar contacto con la empresa, se envía un kit a la persona interesada con todos los elementos necesarios para tomar un molde del miembro del animal.
3. El molde se envía de vuelta a la empresa para generar una cotización. A partir del mismo se realiza la prótesis u órtesis a medida utilizando diferentes polímeros, y en ocasiones piezas metálicas.

RECURSOS UTILIZADOS| Para elaborar las prótesis y órtesis se utilizan diversos materiales y procesos productivos. Entre ellos se destacan la impresión 3D, el uso de correas ajustables, herrajes metálicos, materiales acolchonados para el contacto con la piel, entre otros.

PRÓTESIS 3D | PROYECTO INTEGRADOR DE LA CARRERA DE DISEÑO INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ORT

AUTOR | Pablo Fandiño

TUTOR | Alejandro Trinidad



DESCRIPCIÓN - Exoprótesis impresas en 3d diseñadas por un estudiante de la ORT en conjunto con Animales Sin Hogar.

PACIENTE - Perro Cimarrón, amputado en los dos miembros posteriores a diferentes alturas.

OBSERVACIONES - Se utilizó la tecnología de escaneo 3D para generar un modelo tridimensional de los miembros amputados. En este caso se realizó moldes en negativo de los que se obtuvo copias exactas de los miembros en yeso, que fueron luego escaneados.

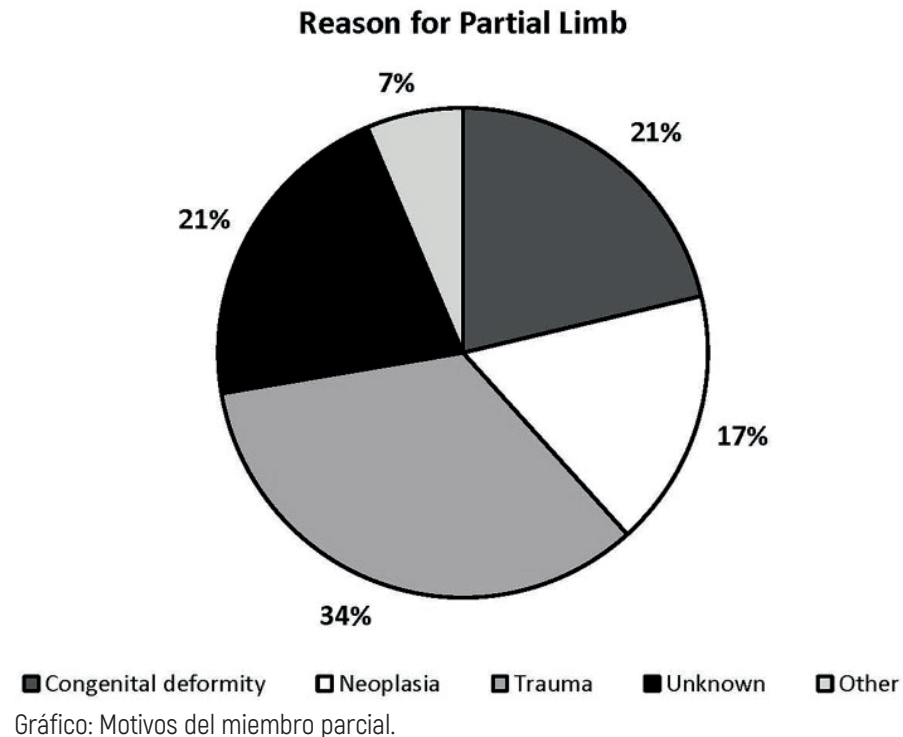
Para sustituir las almohadillas del perro con un material blando se recurrió al uso de pelotas de tenis, por su forma, bajo costo y absorción del impacto.

En el informe se manifiesta que las prótesis no pudieron ser probadas, ya que al perro le incomodaban y no intentó caminar con ellas. Tras una reunión con el autor de estas prótesis se nos fue revelado que el sistema de agarre no funcionó adecuadamente por lo que las prótesis no se sujetaron correctamente. Por este motivo nos recomendó no descuidar este aspecto de la prótesis.

El plástico escogido en este caso fue ABS y se utilizó la impresora Ultimaker 2+.

RETROSPECTIVE MULTI-CENTER ANALYSIS OF CANINE SOCKET PROSTHESES FOR PARTIAL LIMBS

AUTORES | Theresa M. Wendland, Bernard Seguin, y Felix M. Duerr



METODOLOGÍA | Se realizó una encuesta a un grupo de personas cuyos perros utilizaban prótesis en alguno de sus miembros. Dicha encuesta se enfocó en el tipo de patología presente o razón del miembro parcial, uso de prótesis, rehabilitación, actividad del perro, complicaciones y satisfacción de los dueños.

RESULTADOS Y OBSERVACIONES | De las 137 personas contactadas, 50 respondieron y 47 respuestas fueron analizadas. 46 de los 47 dijeron estar satisfechos con el uso de prótesis en sus mascotas y 42 de los 47 consideran que sus perros llevan una vida normal y funcional. Un 62% reportó complicaciones a corto plazo, siendo las lesiones cutáneas la complicación más frecuente.

El estudio también analizó los motivos del miembro parcial y el grado de defecto en cada caso. En las patas delanteras lo más frecuente es el defecto a través del radio, mientras que en las traseras es a través de la tibia. Por otro lado, respecto a los motivos del miembro parcial (ver gráfico adjunto), se constató que en un 34% de los casos se debe a algún tipo de trauma, seguido por deformidades congénitas y amputaciones por tumores, además de motivos desconocidos.

CONCLUSIONES | Los resultados de la encuesta indican un alto nivel de satisfacción por parte de los dueños, a pesar de las frecuentes complicaciones que surgen. Con base en los resultados obtenidos por el estudio, la utilización de prótesis en el tratamiento de patologías de los miembros distales debería ser considerado una opción.

ORTESIS DE RODILLA ARTICULADA

RELEVANCIA PARA EL PROYECTO

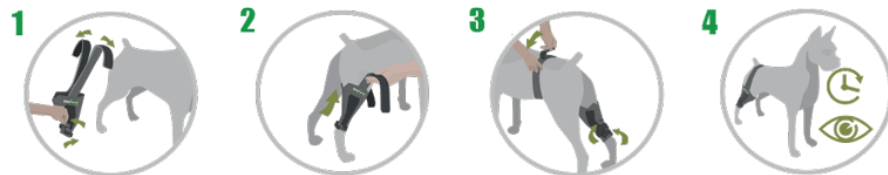
- ☐ Caso
- ☐ Resolución proyectual
- ☒ Agarre



MATERIALES | Neopreno de alta resistencia dinámica, lycra, velcro elástico, acero

OBSERVACIONES | Esta ortesis de rodilla compensa la pérdida de funcionalidad de la articulación del perro, reduce el desplazamiento lateral de la rodilla y reduce el dolor en casos de artritis o artrosis, lesión de ligamentos cruzados, lesión de menisco, problemas de rótula y tendinitis.

La ligera presión que ejerce esta ortesis superficial desconcentra las cargas de trabajo de la articulación, aumentando su estabilidad y previniendo la evolución del daño hacia un estado más grave.



Situación de uso

RECUPERADO DE | <https://www.ortocanis.com/es/protecciones-articulares-a-medida/231-protector-rodilla-canina-perro.html>

ORTESIS DE CODO



MATERIALES | Neopreno de alta resistencia dinámica, lycra, velcro elástico

OBSERVACIONES | Esta órtesis es útil en casos de higromas, callos, úlceras de decúbito, displasia de codos y artrosis de la articulación.

Los callos se ablandan y se flexibilizan. Reduce el dolor de la artrosis, facilita el movimiento y aumenta el metabolismo gracias al calor y soporte generado por el aislamiento del neopreno especial.

Esta ortesis de codo ofrece una protección y sujeción que aumenta el flujo sanguíneo y la temperatura de trabajo de la articulación, teniendo un efecto antiinflamatorio y acelerador de procesos de rehabilitación en casos de lesiones.



RECUPERADO DE | <https://www.ortocanis.com/es/ayudas-tecnicas/17-ortesis-codo-perro.html>

DISEÑO DE ÓRTESIS ECONÓMICA PARA PERROS CON DISPLASIA DE CADERA, CON TECNOLOGIA DISPONIBLE EN EL CONTEXTO GUATEMALTECO

AUTORES | Ana Gabriela Rubio Fernández

TUTORES | Lic. D.I. Fernando Escalante Arévalo



PACIENTE | Perros medianos y grandes

PATOLOGÍA | Displasia de cadera, presentando daño y debilitación en la cadera y en el fémur, inflamación, tambaleo de las patas traseras, intolerancia al ejercicio, rengueras, entre otros signos.

OBSERVACIONES | El proyecto contó, durante todas sus etapas, con la asistencia de profesionales en veterinaria. También se trabajó en conjunto con una organización que daba la posibilidad de testear diversos modelos de control en varios perros con las características de la población objetivo para el proyecto.

Además de contar con grandes fortalezas técnicas, el trabajo resalta el rol del perro en la vida de las personas a lo largo de la historia, y la importancia de generar soluciones que apunten a una mejora en la calidad de vida de estos animales.

Como etapa final del proyecto se realizó una validación del producto, utilizándolo en diferentes perros con la condición a tratar. La autora hace énfasis en las diferencias de adaptación entre los diversos individuos, así como la existencia de un periodo de adaptación al uso de la órtesis, tanto para el animal como para los dueños.



Vista caudal de un perro previa y posteriormente a la utilización de la órtesis. Se observa que, al utilizarla, la distancia entre sus patas traseras aumenta, influyendo de forma positiva en su postura.

CINTURÓN DE SUJECCIÓN PARA PRÓTESIS FEMORALES



MATERIALES | Construido en neopreno de 5 mm

OBSERVACIONES | Consta con un cierre de cintura y la prótesis femoral es fijada al muslo por medio de una cincha

Indicaciones : Ligeras inestabilidades. Procesos dolorosos de larga duración. Previene en deportes o actividades donde la articulación se someta a grandes esfuerzos.

RECUPERADO DE |
<http://www.orliman.com/producto/cinturon-de-sujecion-para-protesis-femorales/>

SISTEMA DE DOBLE ENCAJE



MATERIALES | Thermolyn Suprasoft® y fibra de carbono.

OBSERVACIONES | El sistema de Doble-Encaje es un tipo de socket protésico que consta de dos partes, un socket interno blando y un socket externo rígido.

El encaje interno, hecho de Thermolyn Suprasoft® otorga al paciente un soporte cómodo sobre el cual ajustar su miembro amputado y colocar el peso de su cuerpo, mientras que el encaje rígido, hecho en fibra de carbono, otorga al sistema una forma y soporte ligero pero resistente.

Posee una válvula de aire para expulsar el aire residual y sellando el vacío entre el socket y el miembro amputado.

RECUPERADO DE |
<http://protesica.com.co/portfolio-item/sistema-de-doble-encaje/>

SOCKET AJUSTABLE REVOFIT



MATERIALES | Thermolyn Suprasoft® y fibra de carbono.

OBSERVACIONES | El socket que puede ser graduado manualmente por el usuario para adaptarse a las necesidades de las tallas cambiantes de su muñón durante el día. En su diseño estos encajes ajustables presentan diferentes paneles situados en sus puntos críticos de presión. Estos pueden ser ajustados por medio de un sistema de cierre BOA, una perilla que permite ajustar los paneles para aplicar mas o menos presión.

RECUPERADO DE |
<http://protesica.com.co/portfolio-item/socket-ajustable-revofit/>

SISTEMA DOBLE ENCAJE KISS LANYARD



MATERIALES | Thermolyn Suprasoft® y fibra de carbono.

OBSERVACIONES | Mantiene el sistema de doble encaje mostrado en la referencia N* pero sustituye el sistema de valvula por el sistema Kiss Lanyard, un sistema de suspensión por Liner con lanzadera que emplea una serie de correajes para facilitar al usuario el ajuste y desajuste de su prótesis ortopédica.

Con este sistema hacen accesible a amputados diabéticos o con problemas vasculares el sistema de doble encaje ya que estos pacientes no pueden utilizar el sistema de valvula.

RECUPERADO DE | <http://protesica.com.co/tag/sockets/> y
https://shop.ottobock.us/media/pdf/646T2_6_5-GB-03-1210w.pdf
(funcionamiento)

FÉRULA ORTOPÉDICA POSTERIOR



MATERIALES | Polipropileno termoformable, lycra, espuma de célula cerrada y velcro.

OBSERVACIONES | La férula ortopédica es utilizada para tratar lesiones en miembros distales, inmovilizando la extremidad.

La estructura de la férula esta fabricada en polipropileno ajustandose a la forma de la pata y en su interior posee un relleno de almohadillas antideslizantes para agregar estabilidad y comodidad. Tres velcros acolchonados sujetan la extremidad en 3 puntos diferentes para asegurar un sujeción efectiva.

RECUPERADO DE |
[http://ortopediacanina.com/es/ferulas-y-ortesis/89-ferula-ortopedica-perro.h
tml](http://ortopediacanina.com/es/ferulas-y-ortesis/89-ferula-ortopedica-perro.html)

13.3. PROVEEDORES DE INSUMOS PARA IMPRESIÓN 3D EN URUGUAY



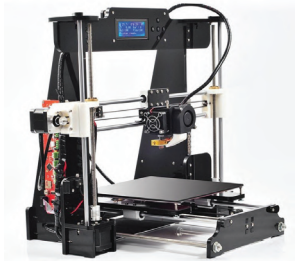
Información de contacto

☎ 2201 1033

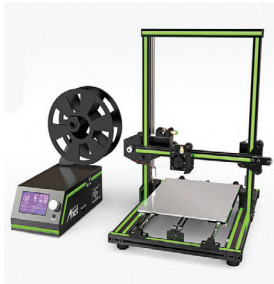
✉ fabrix@fabrix3d.com

📍 Inca 2186

IMPRESORAS DISPONIBLES



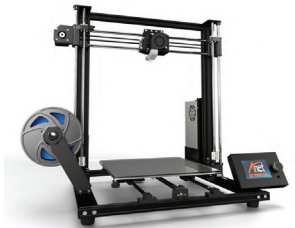
Anet A8



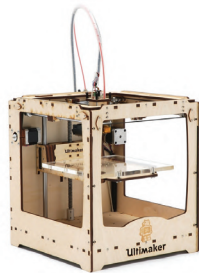
Anet E10



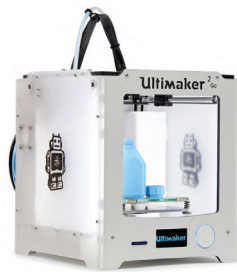
Anet E16



Anet A8 PLUS



Ultimaker Original



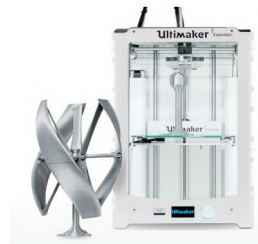
Ultimaker 2 Go



M3D



Ultimaker 2 +



Ultimaker 2 Extended +



Ultimaker 2 extendido



Formlabs



Ultimaker 3

FILAMENTOS DISPONIBLES

PLA, ABS, PA, PETG, PCL, PC, PVA, WOOD, CPE, TPU



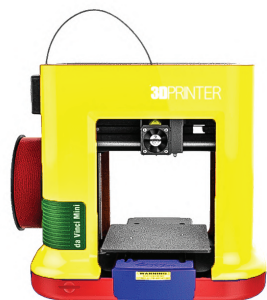
Información de contacto

☎ 2419 6248

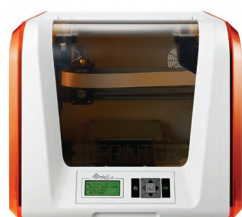
✉ ventas@vacodir.com.uy

📍 Dr. Javier Barrios Amorín 986

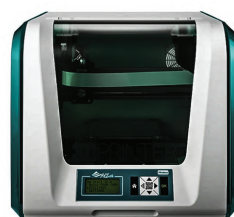
IMPRESORAS DISPONIBLES



Da Vinci Minimaker



Da Vinci Jr. 1.0



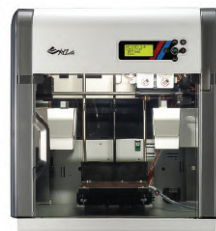
Da Vinci Jr. 1.0w



Da Vinci Jr. 2.0 Mix



Da Vinci Jr. 1.0 Pro



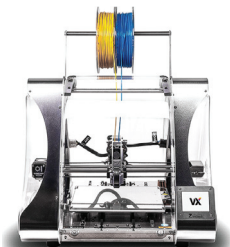
Da Vinci 2.0a Duo



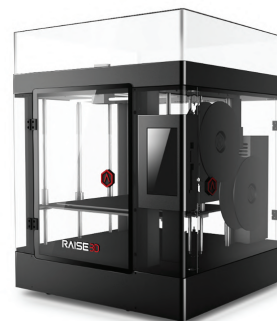
Da Vinci 1.0 Pro



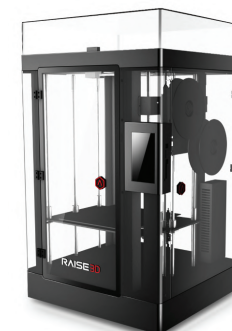
Da Vinci Color



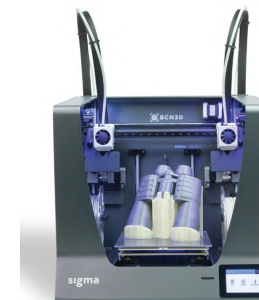
Da Vinci 2.0a Duo



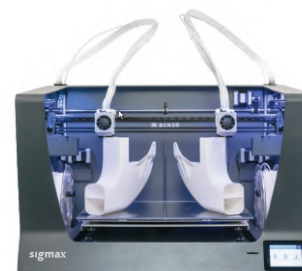
RAISE 3D PRO2



RAISE 3D PRO 2 PLUS



BCN3D SIGMA R19



BCN3D SIGMAX

FILAMENTOS DISPONIBLES

ABS, PLA, HIPS, PVA, Bronze, Wood, PTEG, Cleaning, TPE, PA, PC, PA-GF, PA-CF, ASA



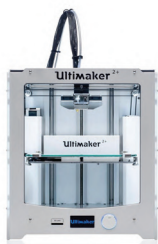
Información de contacto

☎ 2201 1033

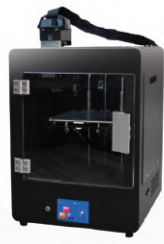
✉ -

📍 Inca 2186

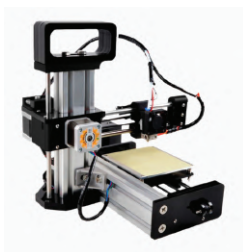
IMPRESORAS DISPONIBLES



Ultimaker 2 +



Makerpi M14



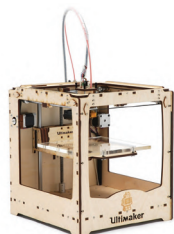
Borlee de extrusion de
filamento fundido



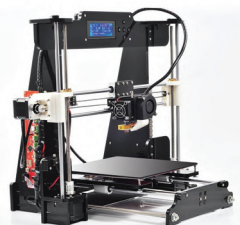
Ultimaker 3



Ultimaker 2 Go



Ultimaker Original



Anet A8

FILAMENTOS DISPONIBLES

PLA, ABS, PA, PETG, PCL, PC, PVA, WOOD, CPE, TPU



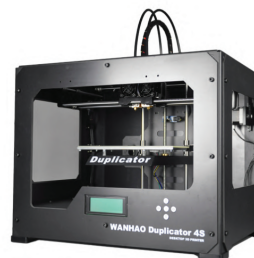
Información de contacto

☎ 2487 5489

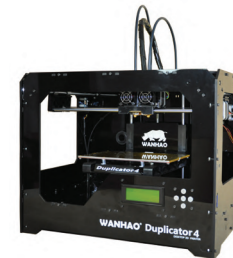
✉ ventas@robotec.com.uy

📍 Joanicó 3256

IMPRESORAS DISPONIBLES



Wanhao duplicator 4s



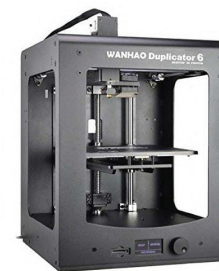
Wanhao duplicator 4



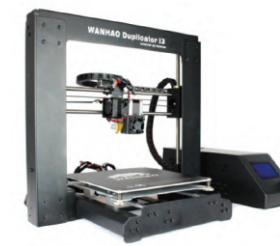
Wanhao duplicator 4x



Wanhao duplicator 5



Wanhao duplicator 6

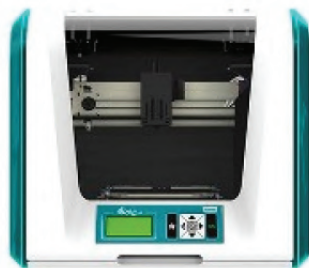


Wanhao duplicator i3

FILAMENTOS DISPONIBLES

PLA, ABS

IMPRESORAS DISPONIBLES



Da Vinci 1.0 Pro WiFi



Da Vinci 1.0 Pro

FILAMENTOS DISPONIBLES

PLA, ABS

IMPRESORAS DISPONIBLES



Velleman K8200

FILAMENTOS DISPONIBLES

PLA, ABS

13.4. FICHA DE PACIENTE

FICHA DE PACIENTE

NOMBRE: _____

EDAD: _____

PESO: _____

RAZA: _____

TEMPERAMENTO :

(Es tranquilo, inquieto, amigable? etc...)

CONTEXTO :

(Características del contexto en el que vive)

AMPUTACIÓN :

(Causa, y contexto de la amputación, fecha..)

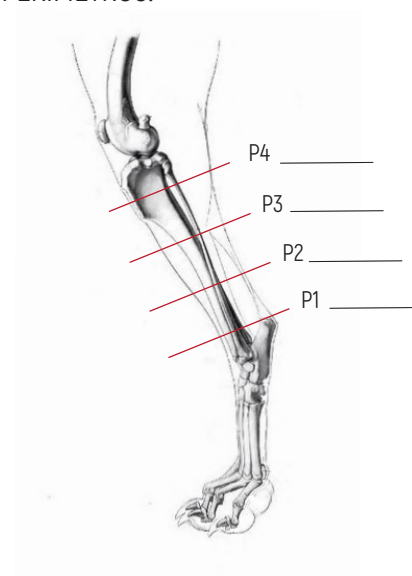
DIAGNÓSTICO :

(Patologías o deformaciones causadas por la falta del miembro)



TOMA DE MEDIDAS

PERÍMETROS:



Anote los perímetros del miembro amputado a las alturas P1, P2, P3, P4 y la altura de cada respectiva medida con respecto al final del mismo.



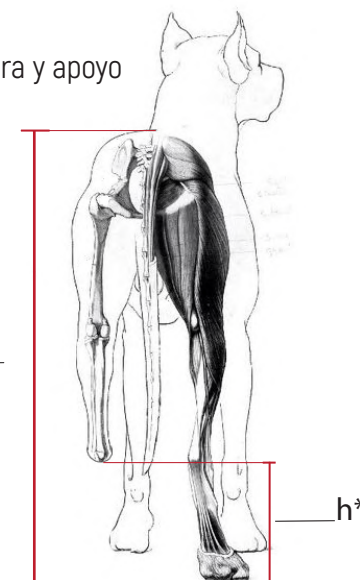
OTRAS DIMENSIONES:

Ancho de pie

Alturas de cadera y apoyo



H _____



h* - Altura desde el apoyo hasta la zona amputada en el miembro homólogo

FOTOS GENERALES

FRONTAL

IZQUIERDA

TRASERA

DERECHA

INFORMACION Y CONTACTOS

INFORMACION DEL DUEÑO

NOMBRE: _____

EMAIL: _____

CELULAR: _____

INFORMACION DEL VETERINARIO TRATANTE

NOMBRE: _____

EMAIL: _____

CELULAR: _____

CLÍNICA: _____

DIRECCIÓN DE CLÍNICA: _____

1. Importar escaneo del molde al programa de modelado

13.5. PROCESO DE MODELADO DEL DISPOSITIVO



Fig. 4. Proceso de modelado. Autoría propia.

2. Realizar cortes en el modelo a las alturas de los perímetros tomados en la ficha del paciente, corroborar si el modelo tiene la escala y tamaños correctos. Simplificar estos perfiles re dibujandolos y realizar un loft con los mismos generando un modelo paramétrico con geometría simplificada para continuar con el proceso.

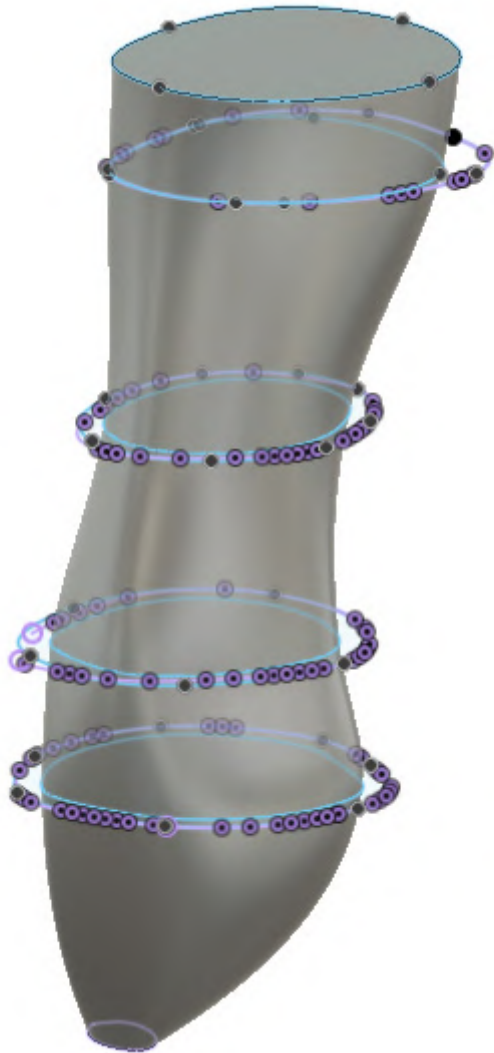


Fig. 5. Proceso de modelado. Autoría propia.

3. Modelar el volumen que luego se transformará en el socket. Para ello utilizamos la operación de Offset a 4mm con la superficie obtenida en el paso anterior. A esto se le agrega un volumen externo en la zona inferior, que oficiará de acolchonamiento y amortiguación para el miembro. Dicho volumen puede ser realizado con modelado libre. Unir el volumen del socket al del modelado libre mediante una unión booleana y suavizar la arista resultante mediante una operación de fillet.



Fig. 6. Proceso de modelado. Autoría propia.

4. Trazado en una vista lateral para determinar las medidas generales que tendrá la prótesis. Se puede un boceto como referencia dentro del modelo para facilitar los pasos siguientes.

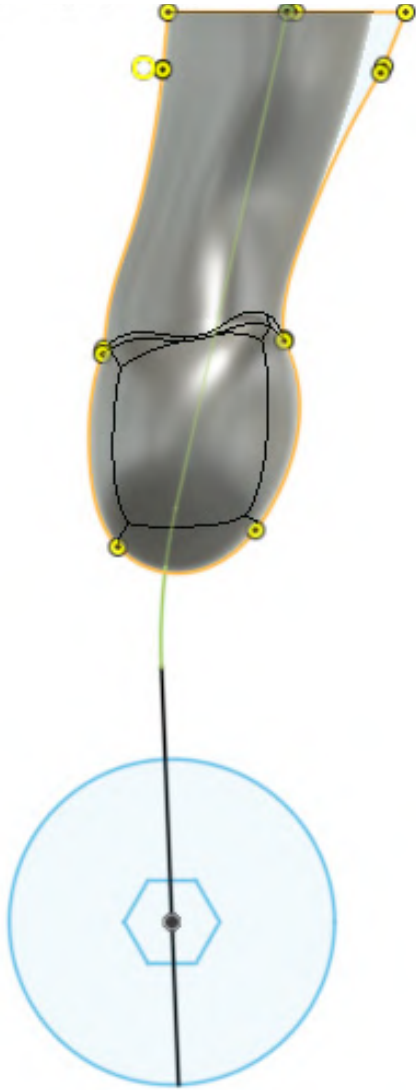


Fig. 7. Proceso de modelado. Autoría propia.

5. Generar pieza de apoyo como una sola parte para luego dividirla en las secciones rígida y flexible/amortiguadora.

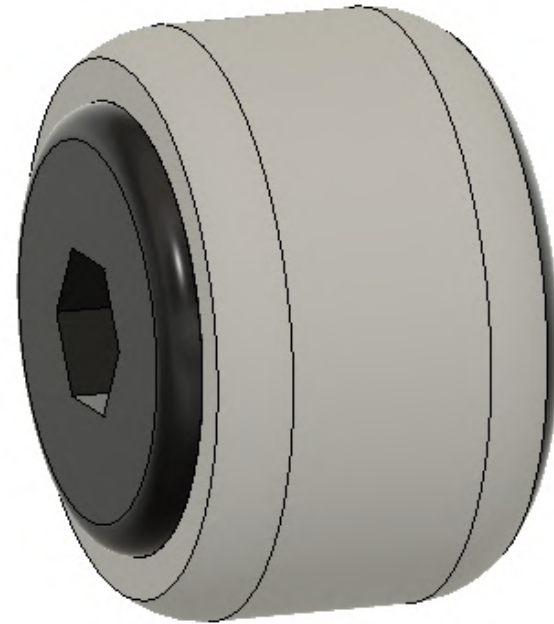


Fig. 8. Proceso de modelado. Autoría propia.

6. Modelar el cuerpo de la prótesis mediante una operación de loft por dos rieles. Partiendo de la vista lateral se dibujan dos líneas que representan los rieles (siguiendo el boceto). Posteriormente se dibujan los perfiles, que deben coincidir con ambos rieles y tener en cuenta el socket y la pieza de apoyo.



Fig. 9. Proceso de modelado. Autoría propia.

7. Resolver unión entre el cuerpo y la pieza de apoyo a partir de una serie de sustracciones y adiciones. Generar un encastre entre ellas utilizando el eje central de la pieza de apoyo como recurso.

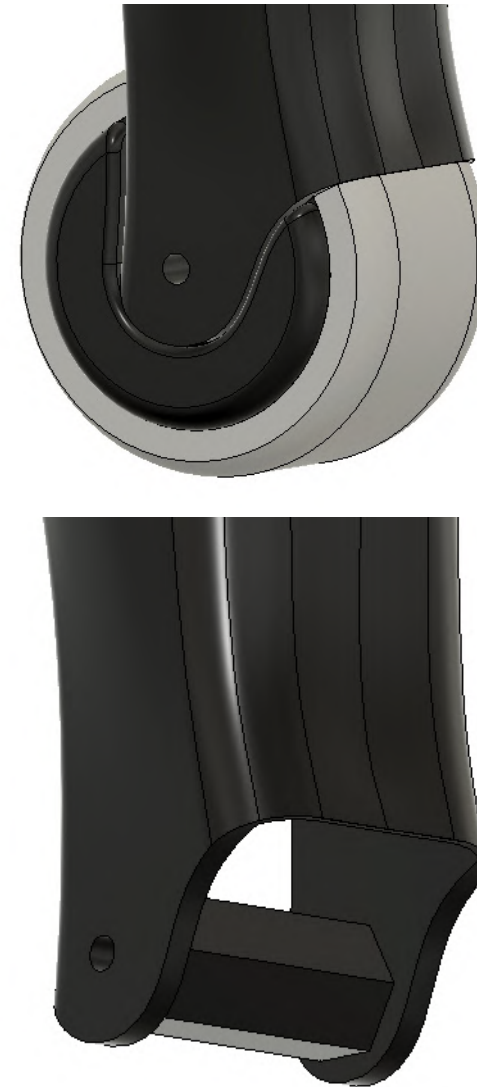


Fig. 10. Proceso de modelado. Autoría propia.

8. Sustraer el volumen del socket y del muñón al cuerpo y generar la zona de colocación del socket. Para esto último se corta una porción del cuerpo y se la adiciona al socket.



Fig. 11. Proceso de modelado. Autoría propia.

9. Sustraer la volumetría del muñón al socket.

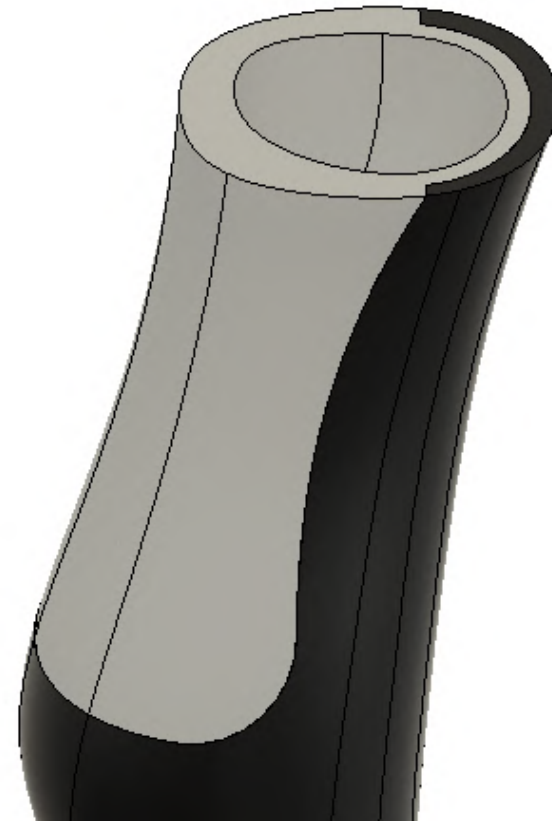


Fig. 12. Proceso de modelado. Autoría propia.

10. Dividir la pieza cuerpo en dos hemisferios y vaciar la zona central para disminuir la cantidad de material, reduciendo así también su peso.

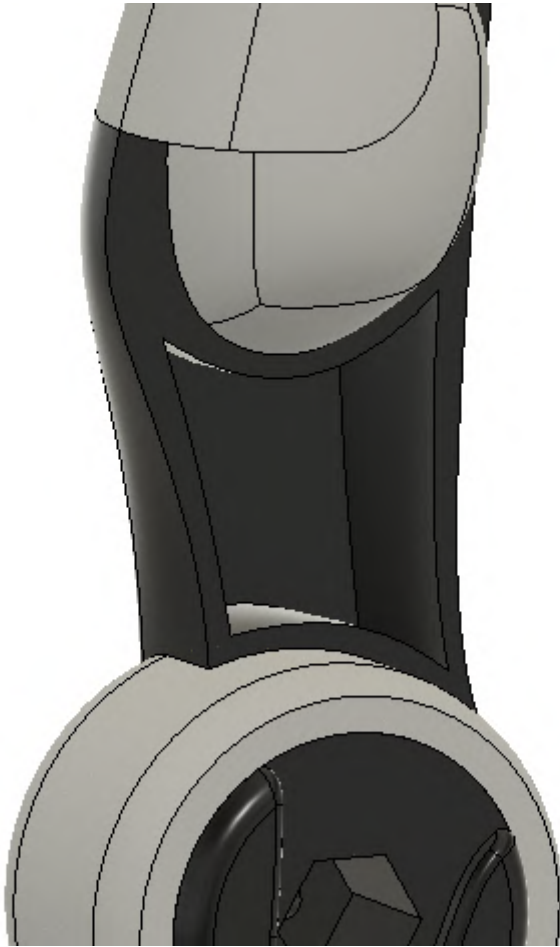


Fig. 13. Proceso de modelado. Autoría propia.

11. Crear el sistema de drenaje/ventilación considerando el socket y el cuerpo como una unidad.

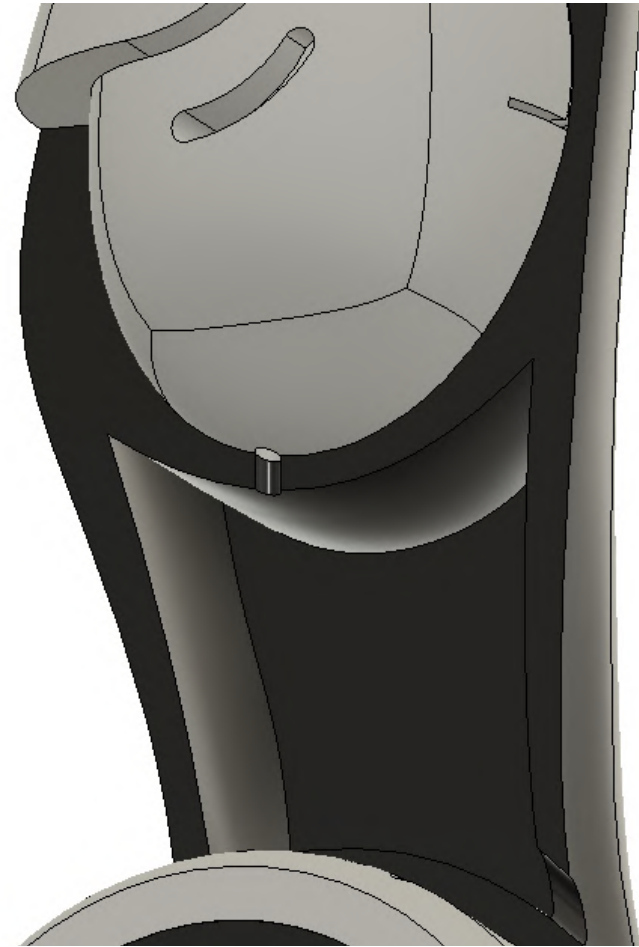


Fig. 14. Proceso de modelado. Autoría propia.

12. Determinar la posición de la tornillería generando alojamientos en puntos clave.



Fig. 15. Proceso de modelado. Autoría propia.

13. Generar una ranura para sujetar el elástico de agarre.



Fig. 16. Proceso de modelado. Autoría propia.

13.6. TESTEOS PREVIOS DEL DISPOSITIVO

PRIMER PROTOTIPO



Fig. 17. Primer prototipo. Autoría propia.

MÉTODO DE TESTEO

Se imprimió el prototipo a escala real y se le colocó a Ruffus en su entorno habitual.

Se observó:

- Durante el proceso de armado, la resistencia otorgada por los tornillos para la unión de las partes.
- Cómo Hugo le colocaba la prótesis, si existía alguna dificultad durante este proceso y la reacción de Ruffus.
- Cómo el dispositivo afectaba la postura del perro en su cadera y rodilla, así como la alineación de las patas traseras respecto al plano medial del cuerpo.

OBSERVACIONES

- Los tornillos presentes en la zona del cuerpo y de la sujeción de la prótesis resultaron ser excesivamente grandes, además de agregar una cantidad considerable de peso al dispositivo.
- Durante el proceso de colocación del dispositivo Ruffus se mantuvo tranquilo y no presentó molestias. Hugo logró colocárselo en correcta en el primer intento, sin dificultades.
- Respecto a la postura de Ruffus, se observó que su rodilla se encontraba demasiado flexionada al alinear sus caderas en una línea horizontal (como se puede ver en la foto).

Esta fue la primera vez que intentó caminar con el dispositivo en su pata, y, aunque no se esperaba que lo hiciera correctamente desde un comienzo, pudimos notar que en determinados momentos presentaba un desplazamiento lateral de su miembro posterior derecho respecto a su plano medio.

CONCLUSIONES

- Pueden utilizarse tornillos mas pequeños sin comprometer la fortaleza del dispositivo.
- La experiencia de colocar el dispositivo resulta sencilla, tanto para el dueño como para el perro.
- En esta etapa, la prótesis resulta demasiado alta, así como también muy grande y pesada en la parte inferior. En un siguiente prototipo se reducirán dichas dimensiones por algunos centímetros, y se reducirá el volumen de la pieza de apoyo.



Fig. 18. Primer prototipo. Autoría propia.



Fig. 19. Primer prototipo. Autoría propia.

SEGUNDO PROTOTIPO



Fig. 20 y 21. Segundo prototipo. Autoría propia.



MÉTODO DE TESTEO

Se imprimió el prototipo a escala real y se le colocó a Ruffus, esta vez en presencia de la Dra. Da Silva.

Se observó:

- La altura de la cadera del miembro amputado respecto a la del miembro homólogo.
- La flexión de la rodilla del miembro amputado.
- La compresión experimentada por la pieza flexible de apoyo.

OBSERVACIONES

- La postura de Ruffus mejoró significativamente respecto al testeo del primer prototipo. Sin embargo, se pudo notar un leve desnivel entre ambas caderas.
- La distribución del peso del dispositivo mejoró respecto al primer prototipo debido a la reducción en su volumen en la zona de apoyo.
- La pieza flexible de apoyo se veía completamente aplastada contra el suelo debido al peso del perro y el porcentaje de infill de la pieza.

CONCLUSIONES

- La altura del dispositivo es casi la adecuada; aún se le debe agregar entre 1 y 2cm.
- El dispositivo se beneficiaría de un mayor porcentaje de infill en la pieza de apoyo flexible. Esto podría brindar mayor amortiguación así como mayor durabilidad a dicha pieza.



Fig. 21. Segundo prototipo. Autoría propia.

TERCER PROTOTIPO



Fig. 22. Tercer prototipo. Autoría propia.

MÉTODO DE TESTEO

Se imprimió una pieza de apoyo que agregase 1cm de altura y contara con un mayor porcentaje de infill. Con esta nueva pieza, se le colocó el dispositivo a Ruffus.

Se observó:

- La altura de la cadera del miembro amputado respecto a la del miembro homólogo.
- La flexión de la rodilla del miembro amputado.
- La compresión experimentada por la pieza flexible de apoyo.

OBSERVACIONES

- La postura de Ruffus mejoró respecto al testeo del segundo prototipo. Ambas caderas se mantuvieron a la misma altura entre sí.
- La pieza flexible de apoyo mantuvo su forma mientras soportaba el peso de Ruffus.

CONCLUSIONES

- La altura del dispositivo es la correcta.
- El porcentaje de relleno estructural es el adecuado.



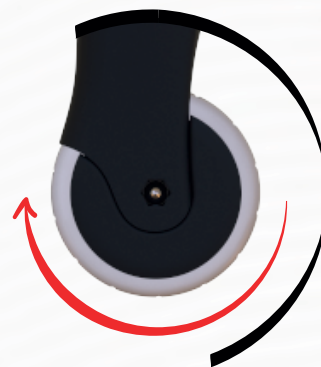
Fig. 23 y 24. Tercer prototipo. Autoría propia.

14. CARPETA TÉCNICA

PRÓTESIS CANINA RUFFUS | DOGO ARGENTINO



Un sistema de drenaje de agua conecta el interior del socket con el exterior para permitir la salida de agua ante la eventualidad de que ingrese a la prótesis.



La pieza de apoyo tiene forma circular para adaptarse a la mayor cantidad de ángulos de apoyo posibles. Está hecha de TPE por lo que es antideslizante y absorbe el impacto al caminar. Ante el desgaste por el uso prolongado puede ser girada para aprovechar toda su superficie.



Socket hecho a medida para una mejor sujeción del miembro; encastra perfectamente con el cuerpo de la prótesis. Impreso en TPE, genera una zona acolchonada, suave y libre de hongos.



Presenta calados coincidentes en el cuerpo y el socket para permitir la circulación de aire y evitar acumulación de humedad. A su vez evita que se genere un vacío al ingresar el miembro amputado.

DIMENSIONES GENERALES



MATERIALES: ASA - TPE
Velcro - Elástico

PESO : 300 g

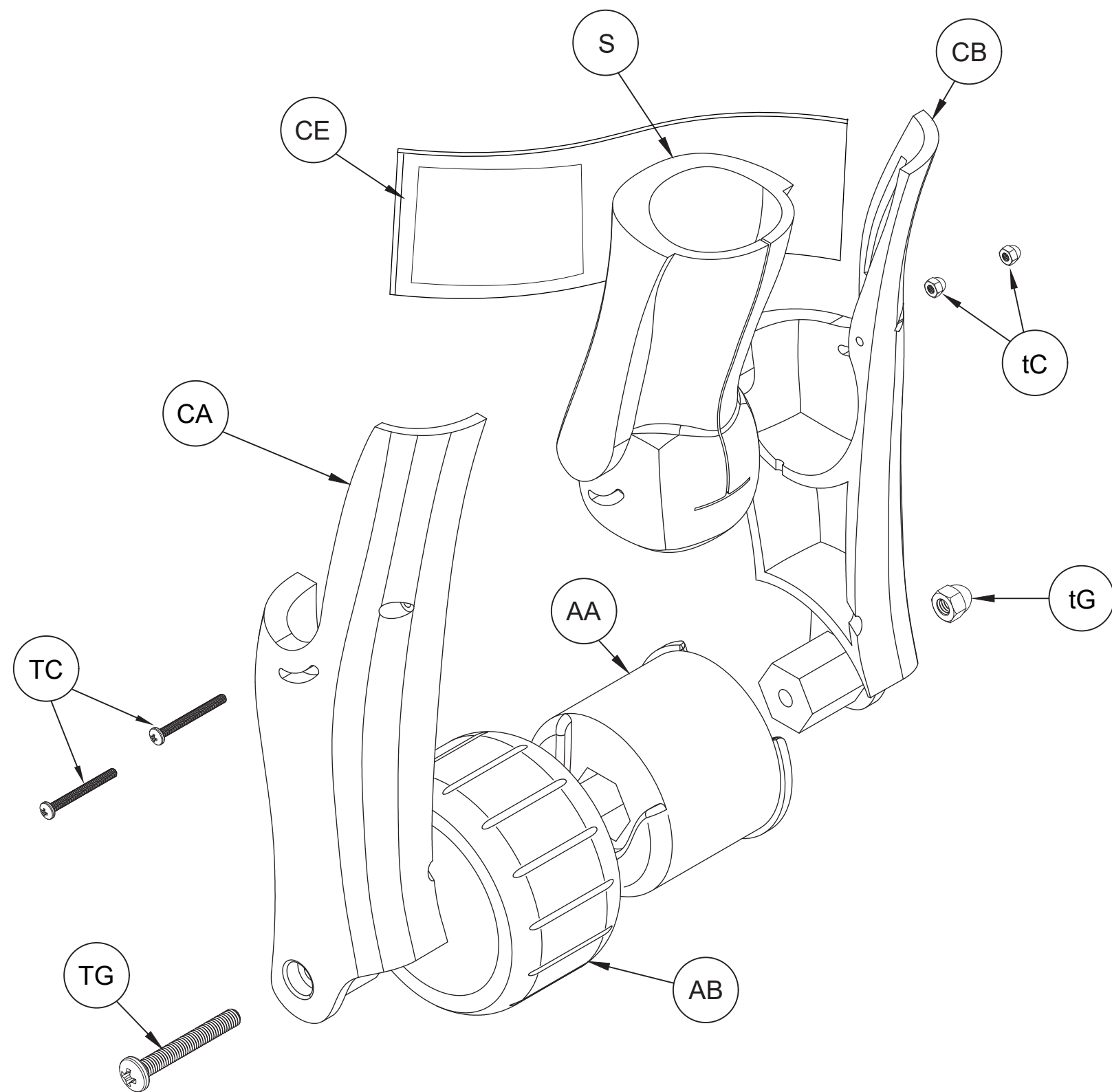
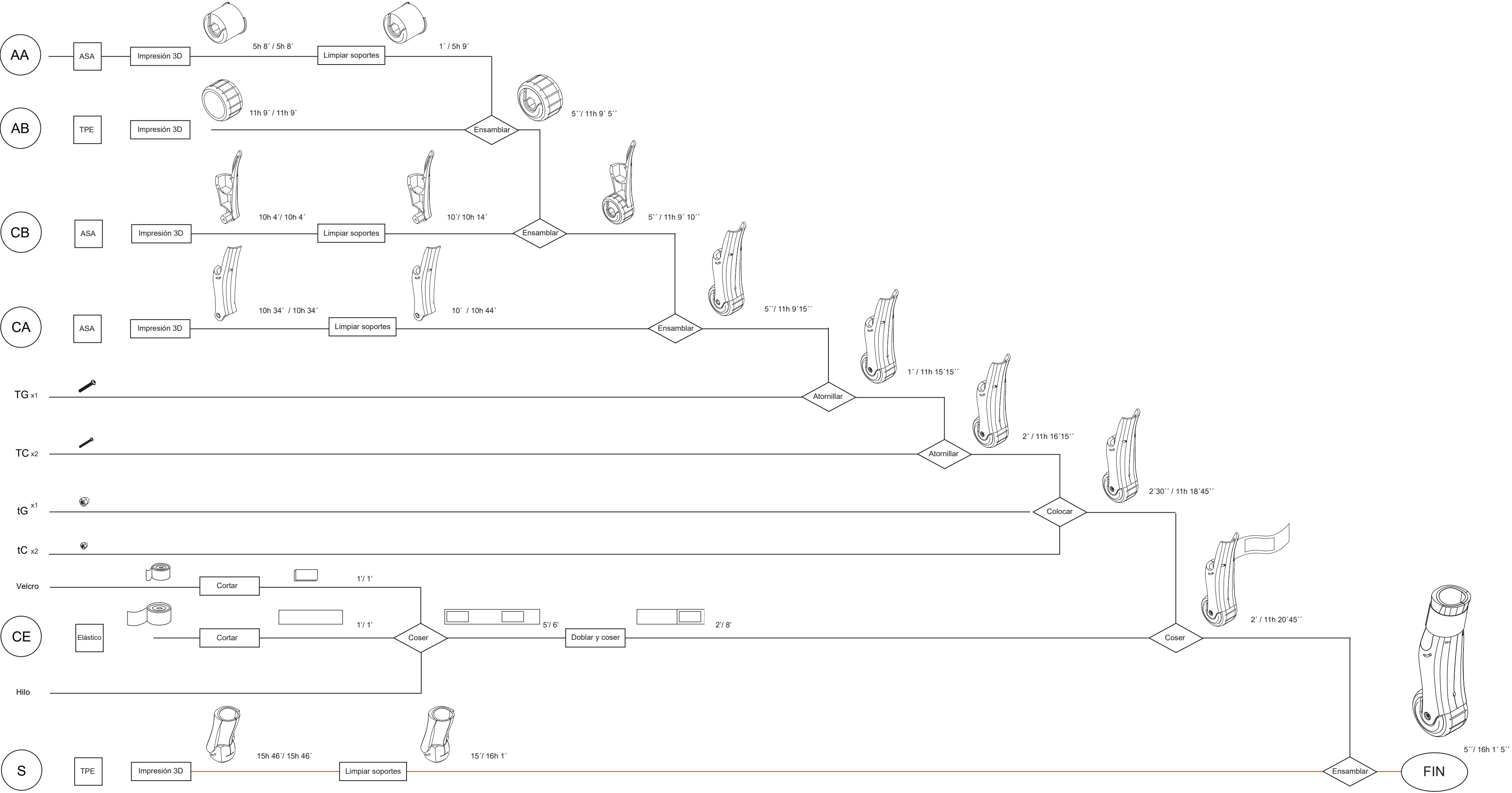


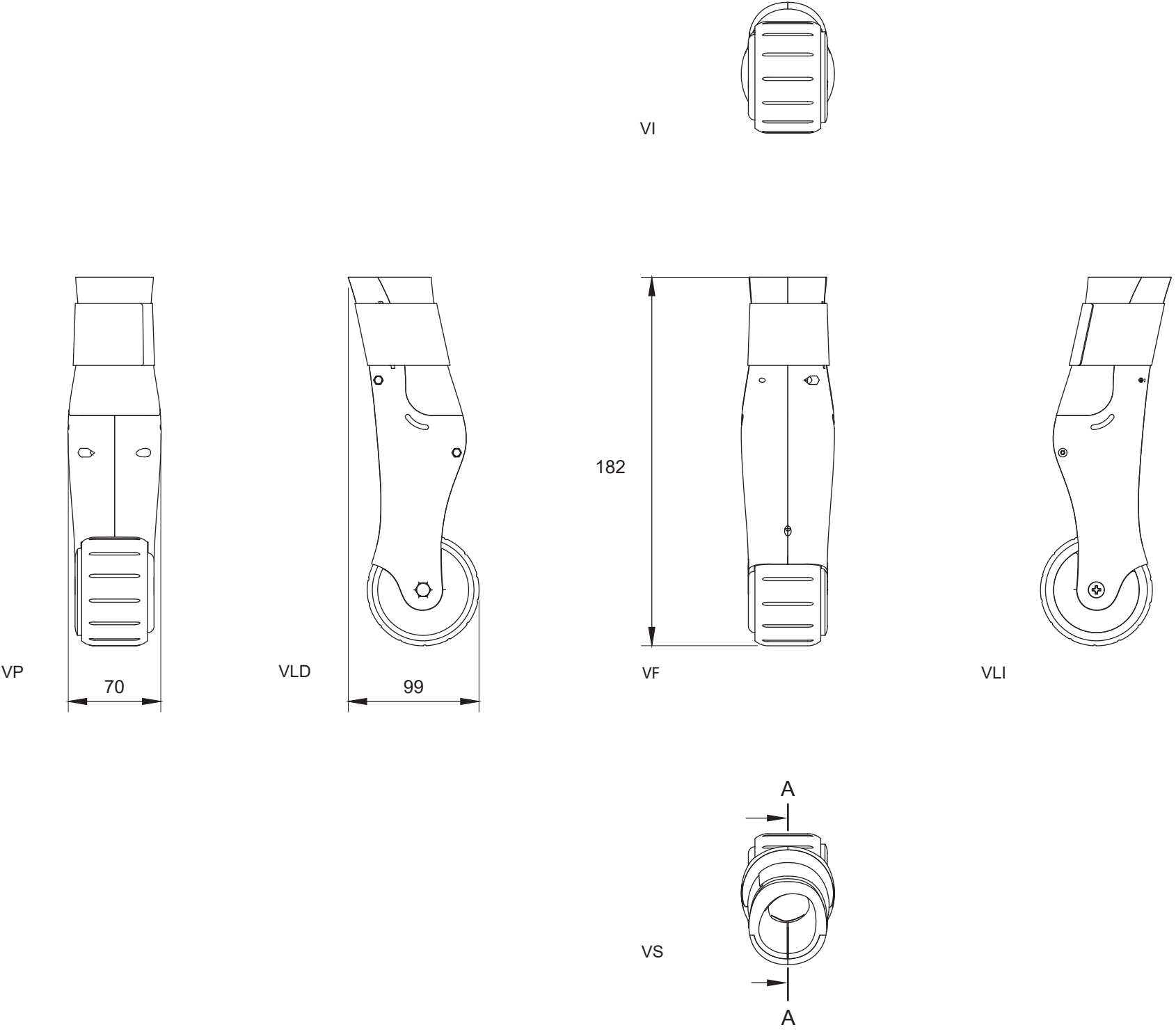
TABLA DE PARTES				
CÓDIGO	NOMBRE	CANTIDAD	MATERIAL	BOCETO
CA	Carcaza A	1	ASA	
CB	Carcaza B	1	ASA	
AA	Apoyo A	1	ASA	
AB	Apoyo B	1	ASA	
CE	Correa Elástica	1	Elástico y velcro	

TABLA DE INSUMOS				
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	BOCETO
TG	Pan Head Phillips Screws M6 x 1 45mm Long	1	Acero inoxidable	
TC	Pan Head Phillips Screws M3 x 0,5 30mm Long	2	Acero inoxidable	
tG	Dome Nut M6 X 1 H:12	1	Acero inoxidable	
tC	Dome Nut M3 X 0,5 H:6	2	Acero inoxidable	

PROYECTO	Aportes de la impresion 3d a la fabricacion de prótesis caninas		UNIDADES mm
PIEZA	Exploción - tabla de piezas/insumos		
MATERIAL	-		HOJA 1/9
AUTORES	D. Anichini - I. Barral		
N° REVISIÓN	1	FECHA DE REALIZACIÓN	Febrero 2020

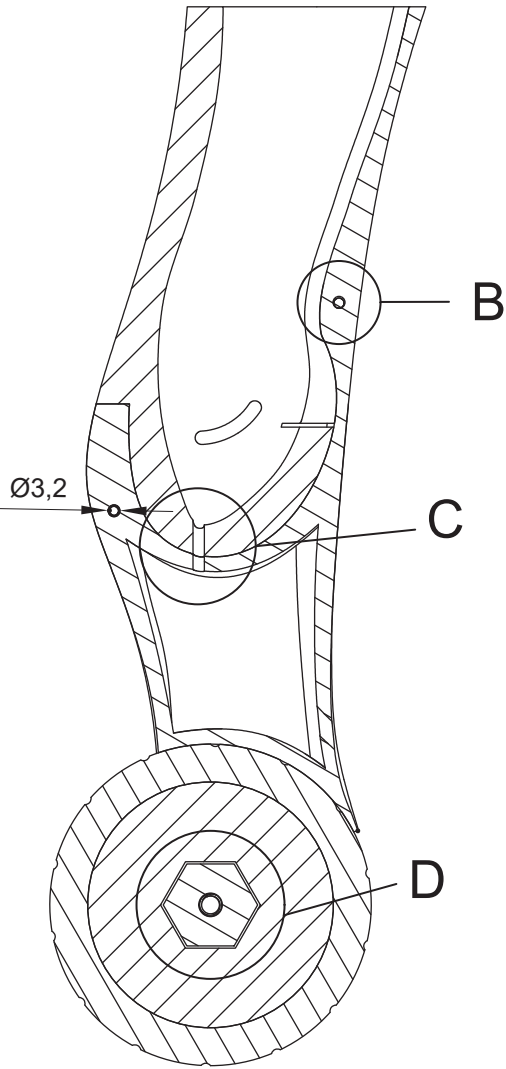


PROYECTO	Aportes de la impresion 3d a la fabricacion de prótesis caninas		UNIDADES mm
PIEZA	Flujo productivo		
MATERIAL	-		HOJA
AUTORES	D. Anichini - I. Barral		2/9
N° REVISIÓN	1	FECHA DE REALIZACIÓN	Febrero 2020

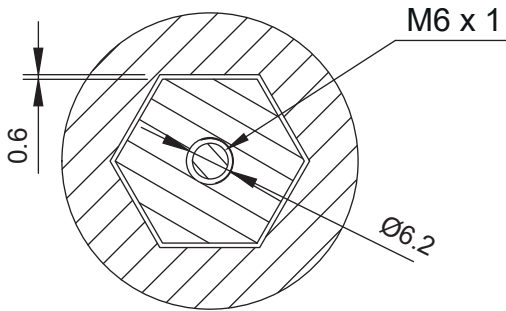


PROYECTO	Aportes de la impresion 3d a la fabricacion de prótesis caninas		UNIDADES mm
PIEZA	Vistas/ cotas generales		ESCALA 1:4
MATERIAL	-		HOJA 3/9
AUTORES	D. Anichini - I. Barral		
N° REVISIÓN	1	FECHA DE REALIZACIÓN	Febrero 2020

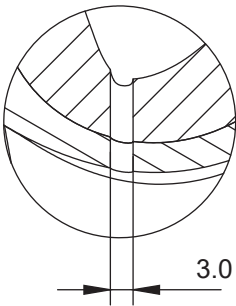
A-A (1:2)



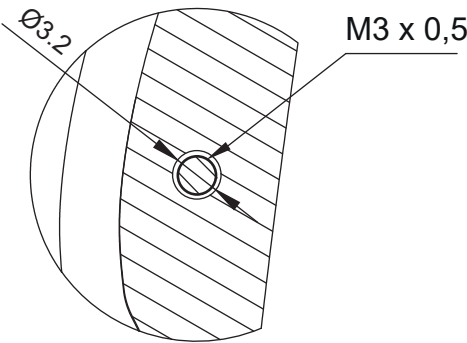
Detalle D (1:1)



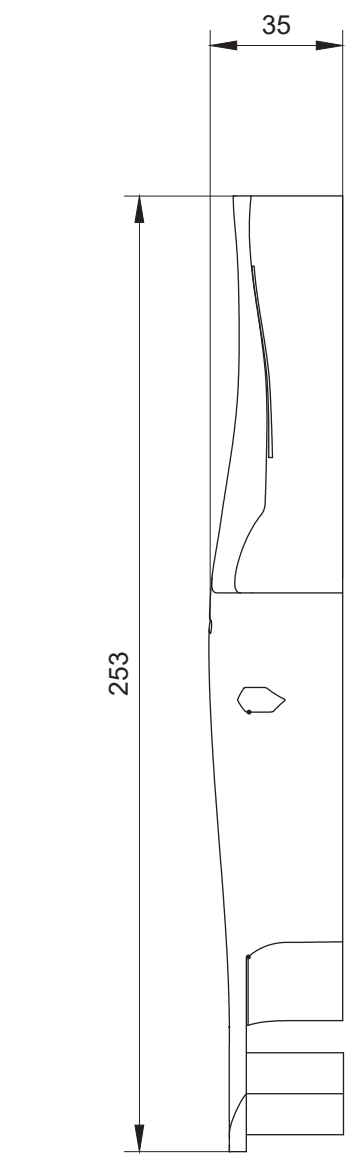
Detalle C (1:1)



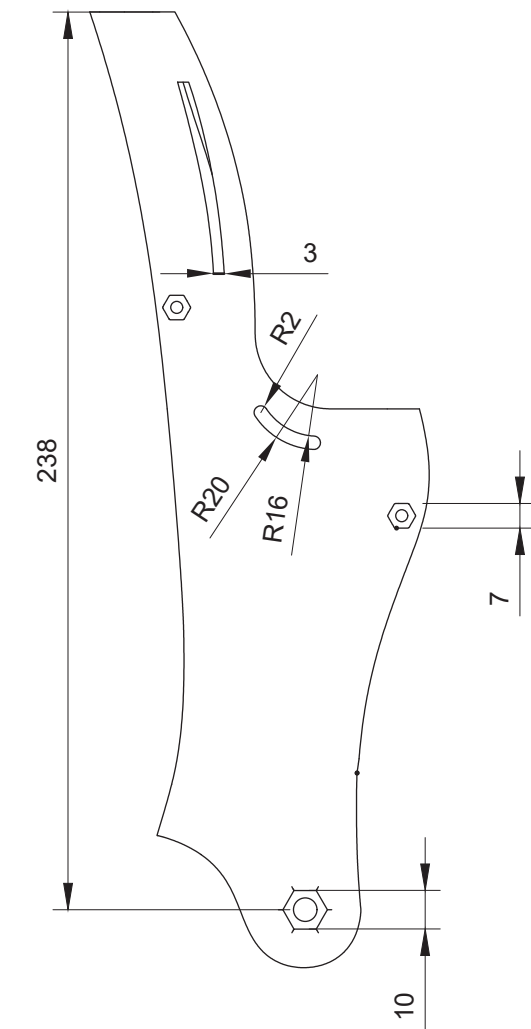
Detalle B (2:1)



PROYECTO	Aportes de la impresion 3d a la fabricacion de prótesis caninas		UNIDADES mm
PIEZA	Corte AA, Detalle B,C,D		ESCALA 1:2
MATERIAL	-		HOJA 4/9
AUTORES	D. Anichini - I. Barral		
N° REVISIÓN	1	FECHA DE REALIZACIÓN	Febrero 2020

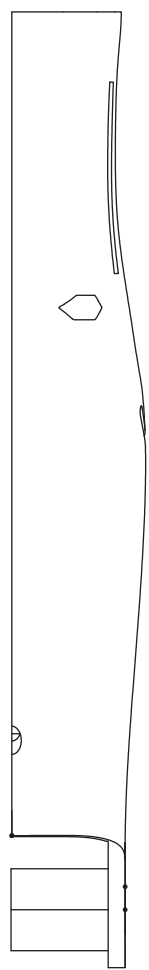
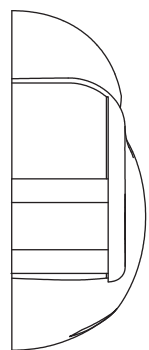


VP

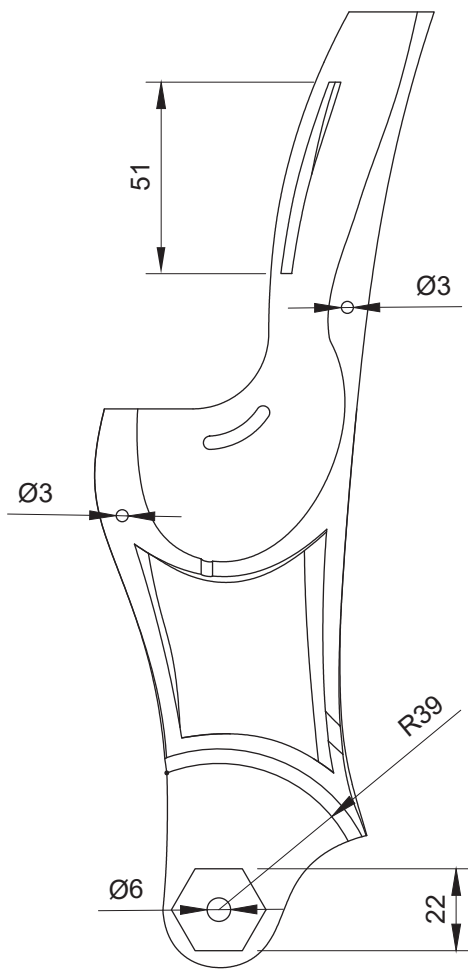


VLD

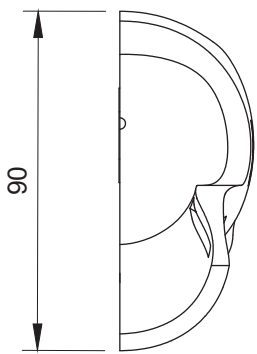
VI



VF



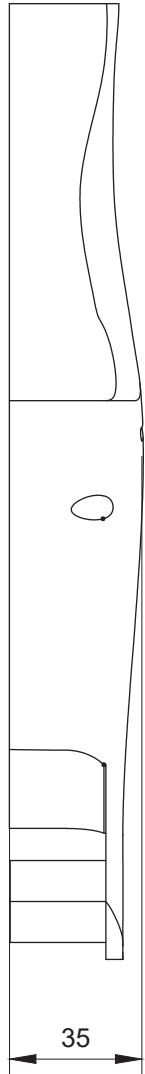
VLI



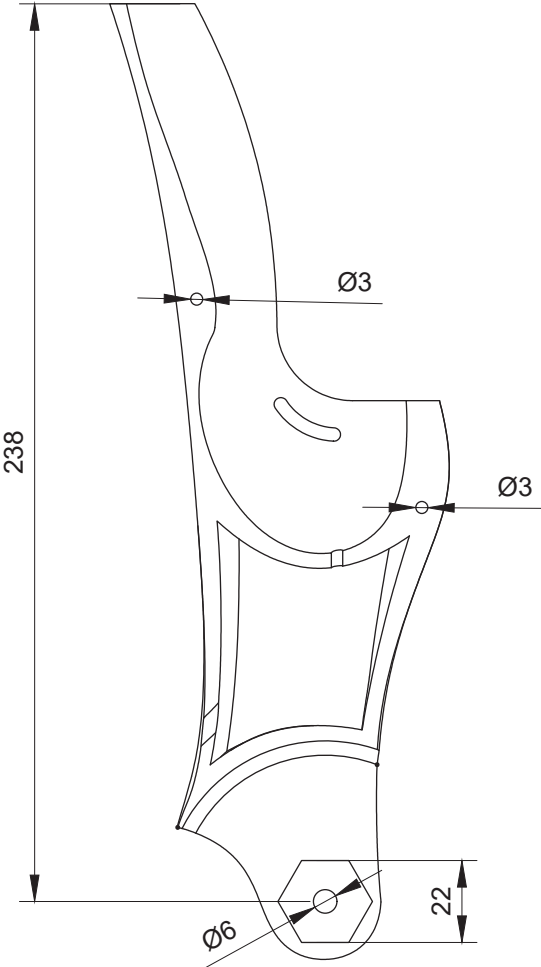
VS

PROYECTO	Aportes de la impresion 3d a la fabricacion de prótesis caninas		UNIDADES	mm
PIEZA	PIEZA CB - Vistas y cotas		ESCALA	1:2
MATERIAL	ASA		HOJA	5/9
PROCESO	Impresión 3D			
AUTORES	D. Anichini - I. Barral			
N° REVISIÓN	1	FECHA DE REALIZACIÓN	Febrero 2020	

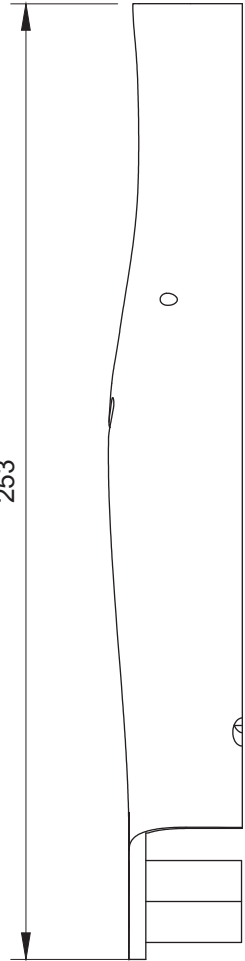
VP



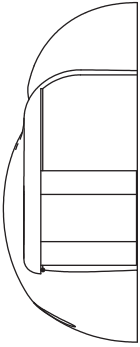
VLD



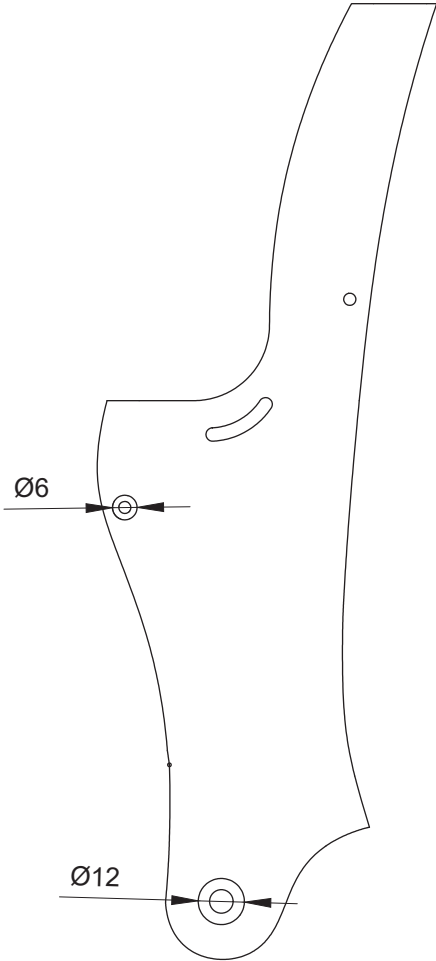
VF



VI



VLI

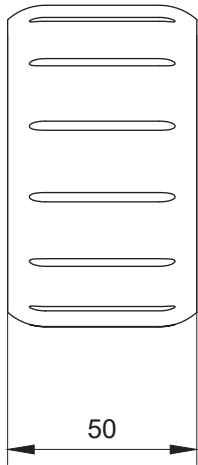


VS

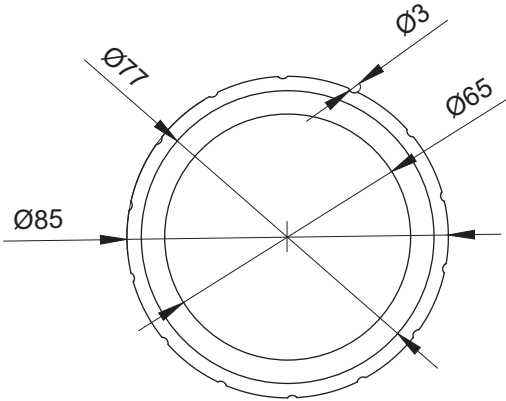


PROYECTO	Aportes de la impresion 3d a la fabricacion de prótesis caninas		UNIDADES	mm
PIEZA	PIEZA CA - Vistas y cotas		ESCALA	1:2
MATERIAL	ASA		HOJA	6/9
PROCESO	Impersión 3D			
AUTORES	D. Anichini - I. Barral			
N° REVISIÓN	1	FECHA DE REALIZACIÓN	Febrero 2020	

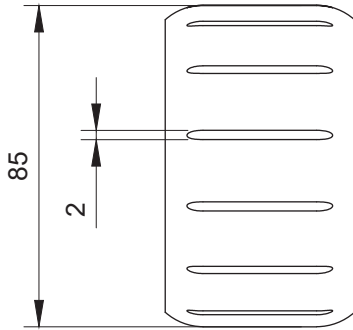
VP



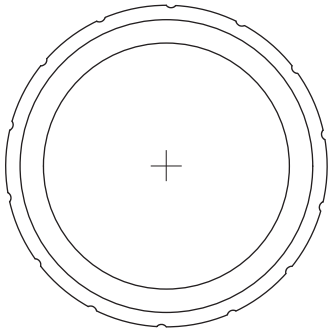
VLD



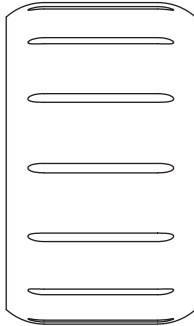
VF



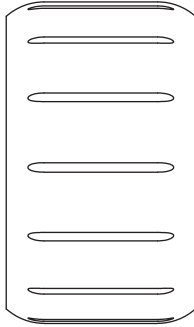
VLI



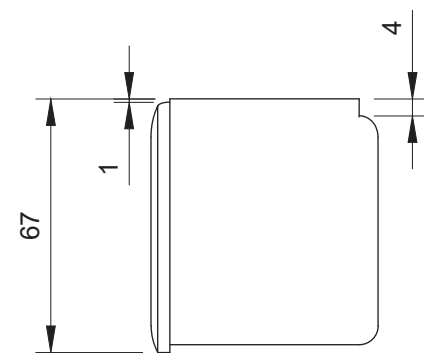
VI



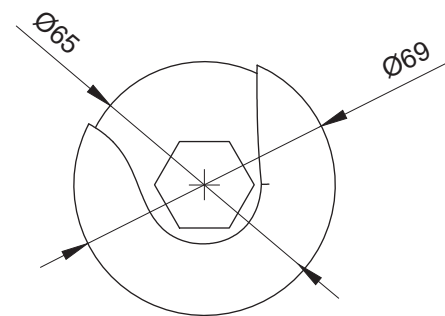
VS



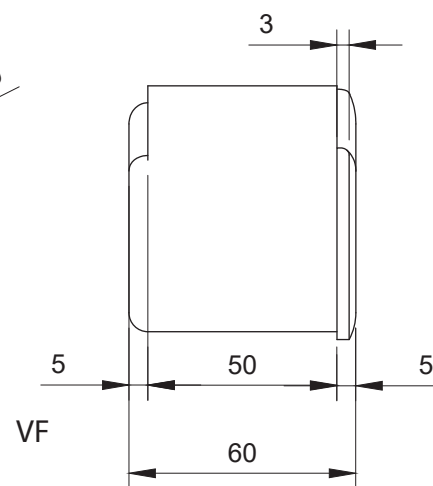
PROYECTO	Aportes de la impresion 3d a la fabricacion de prótesis caninas		UNIDADES mm
PIEZA	PIEZA AB - Vistas y cotas		ESCALA 1:2
MATERIAL	TPE		HOJA 7/9
PROCESO	Impresión 3D		
AUTORES	D. Anichini - I. Barral		
N° REVISIÓN	1	FECHA DE REALIZACIÓN	Febrero 2020



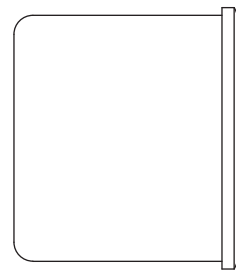
VP



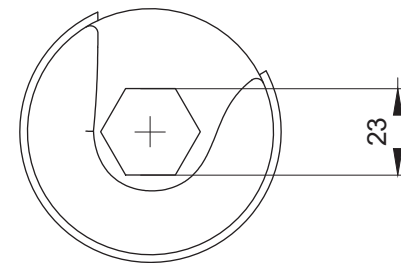
VLD



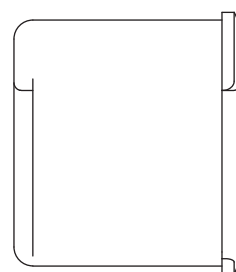
VF



VI

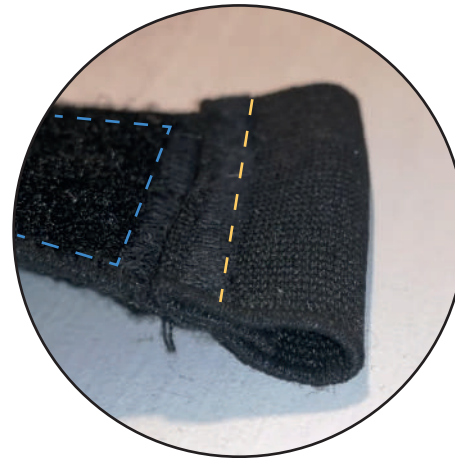
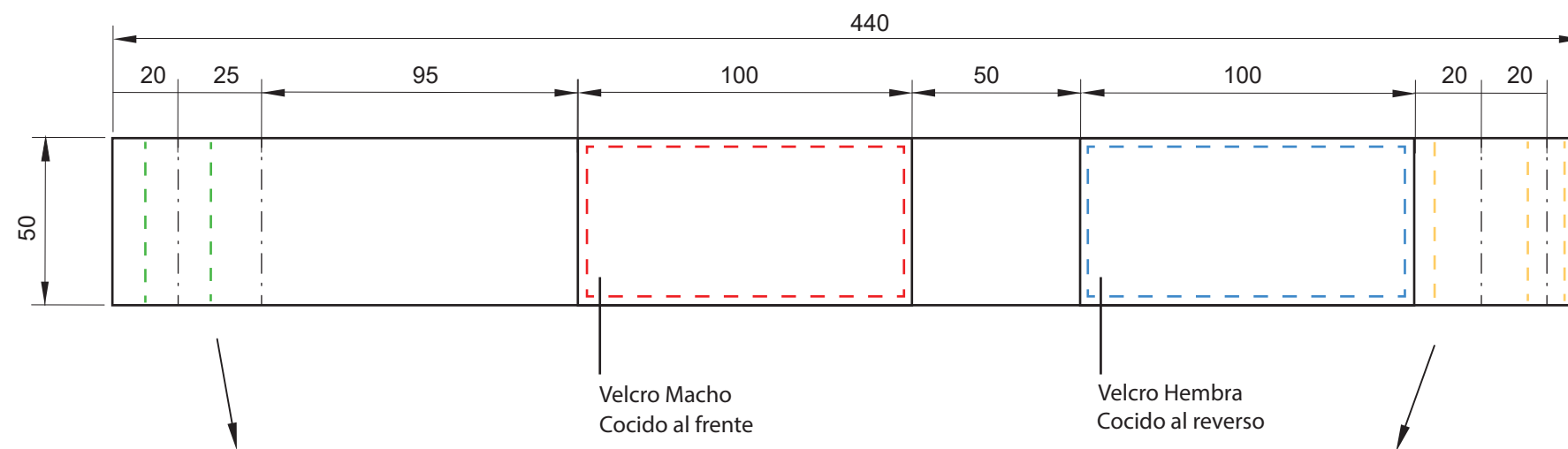


VLI



VS

PROYECTO	Aportes de la impresion 3d a la fabricacion de prótesis caninas		UNIDADES mm
PIEZA	PIEZA AA - Vistas y cotas		ESCALA 1:2
MATERIAL	ASA		HOJA 8/9
PROCESO	Impersión 3D		
AUTORES	D. Anichini - I. Barral		
N° REVISIÓN	1	FECHA DE REALIZACIÓN	Febrero 2020



CUADRO DE REFERENCIAS	
■ Costura 1	---
■ Costura 2	ZIGZAG
■ Costura 3	~~~~~
■ Costura 4	~~~~~
Pliegue	-----

PROYECTO	Aportes de la impresion 3d a la fabricacion de prótesis caninas		UNIDADES mm
PIEZA	PIEZA CE - Cotas y vistas		ESCALA 1:2
MATERIAL	Elástico y velcro		HOJA 9/9
PROCESO	-		
AUTORES	D. Anichini - I. Barral		
N° REVISIÓN	1	FECHA DE REALIZACIÓN	Febrero 2020