

Órtesis de inmovilización para perros: Un enfoque de bajo costo basado en el diseño generativo

Canine Immobilization Orthosis: A Low-Cost Approach Based on Generative Design

Fecha de recepción: 2023-02-26 Fecha de aceptación: 2024-04-09 Fecha de publicación: 2024-06-10

José Miguel Segnini Maizo¹

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Ecuador

jmsegnini@pucesi.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4894-6482>

Karen Dayana Imbago Arevalo²

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

kd.imbago@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-3342-5234>

Mary Josefina Vergara Paredes³

Universidad Internacional de Valencia, España

maryjosefina.vergara@professor.universidadviu.com

<https://orcid.org/0000-0002-5718-3325>

RESUMEN

Cuando un perro experimenta un accidente o presenta una malformación en una de sus extremidades, su movilidad se ve comprometida y se requiere el uso de una ortesis de inmovilización para facilitar la recuperación del miembro afectado. En el proceso de diseño de estas ortesis, idealmente, se buscaría la participación activa del usuario para definir los requisitos, involucrándolo

desde las etapas iniciales del desarrollo. No obstante, el usuario se ve limitado por la adaptación de lo que ofrece el mercado y los altos costos. En esta investigación, se ha presentado un diseño conceptual y el procedimiento de fabricación de una órtesis de inmovilización para perros caracterizada por su comodidad, transpirabilidad, asepsia, funcionalidad, impermeabilidad, seguridad, estética y bajo costo, acompañado de una gran adaptabilidad que se logra replicando la anatomía de la extremidad afectada. Se consideraron requisitos de resistencia del material y distribución de cargas. Se pudo desarrollar simulaciones de esfuerzo y deformación con programas CAD-CAE hasta obtener un modelo funcional impreso en 3D. Los resultados obtenidos mostraron que es posible diseñar una ortesis mínimamente viable que inmovilice la extremidad del animal y permita una mejor distribución de cargas gracias a la geometría obtenida idéntica a la del miembro original afectado.

PALABRAS CLAVE: órtesis, inmovilización, perros, diseño generativo

ABSTRACT

When a dog experiences an accident or has a malformation in one of its limbs, its mobility is compromised, and the use of an immobilization orthosis is required to facilitate the recovery of the affected limb. In the design process of these orthoses, ideally, the active participation of the user would be sought to define the requirements, involving them from the initial stages of development. However, the user is limited by the adaptation of what the market offers and the high costs. In this research, a conceptual design and the manufacturing procedure of an immobilization orthosis for dogs characterized by its comfort, breathability, asepsis, functionality, impermeability, safety, aesthetics and low cost, accompanied by a great adaptability that is achieved, have been presented. replicating the anatomy of the affected limb. Material strength and load distribution requirements were considered. Stress and deformation simulations could be developed with CAD-CAE programs until a 3D printed functional model was obtained. The results obtained showed that it is possible to design a minimally viable orthosis that immobilizes the animal's limb and allows a better distribution of loads thanks to the geometry obtained identical to that of the original affected limb.

KEYWORDS: orthosis, immobilization, dogs, generative design

Introducción

La órtesis ha sido una de las herramientas ortopédicas más usadas para la rehabilitación de pacientes que requieren un soporte en aquellas partes del cuerpo que han sufrido daño. Aunque muy útiles, las órtesis son más costosas que los tratamientos con métodos tradicionales como es el uso de escayolas completas (yeso) o parciales (férulas). Sin embargo, estas últimas técnicas tienen varios problemas en comparación con la órtesis. Las escayolas son rígidas e incómodas, pueden producir alergias y problemas circulatorios, en tanto que las férulas son difíciles de ajustar anatómicamente a determinadas partes del cuerpo y permiten un movimiento excesivo de las extremidades. En ambos tipos de dispositivos la solubilidad del yeso en el agua dificulta la limpieza de heridas y el aseo del órgano afectado (Segnini et al., 2017). También, es muy común, especialmente en el caso de los animales, que se usen equipos contruidos con diferentes tipos de elementos como madera y plástico. La mayoría de las veces este tipo de herramientas alternativas no producen los resultados esperados puesto que su diseño pocas veces logra un correcto ajuste anatómico a la parte lesionada dificultando su rehabilitación o en casos más complejos cambian la marcha y la distribución de las fuerzas verticales sobre las patas anteriores o posteriores como se muestra con estudios experimentales (Murakami et al., 2021).

Con la aparición de las nuevas tecnologías, se ha producido una revolución en el campo de la biomecánica, lo que ha permitido el desarrollo de nuevos modelos de órtesis muy efectivas en la rehabilitación ortopédica por ser dispositivos livianos, fuertes, seguros, de fácil elaboración y sobre todo cómodos. Entre esas nuevas tecnologías usadas en la fabricación de órtesis destacan por un lado la manufacturación aditiva digital como son las impresiones en 3D y, por otro lado, la construcción de un producto final usando materiales resistentes y elásticos, como la fibra de carbono, donde además se pueden incorporar sensores electrónicos con conectividad móvil o capaces de producir electroestimulaciones localizadas (Segnini et al., 2022).

Una de las mayores ventajas que ofrece la manufactura digital es que los dispositivos se moldean hasta lograr ajustar perfectamente su forma a la anatomía de la zona afectada. Esto se consigue, a través de un levantamiento digital tridimensional de la parte afectada del animal usando un escáner 3D, que continua con la generación del dispositivo de inmovilización mediante la aplicación de la tecnología de impresión 3D basada en la información suministrada por paquetes computacionales. El principal inconveniente de esta nueva tecnología es la lentitud del proceso que hasta ahora tarda entre 36 y 49 horas por cada unidad producida, lapso al cual hay que añadir la duración del post- procesamiento (Antonana et al. 2019; Mesa, 2020; Pascual, 2019)

Entre los países que han mostrado un mayor desarrollo en el diseño y producción de los dispositivos de inmovilización para animales destacan España, Estados Unidos, Israel, Rusia y Suecia (Antoñana et al. 2019; Mesa, 2020; Pascual, 2019; Torres et al. 2017; Wagoner et al., 2018). En el caso de Latinoamérica, se han publicado algunas investigaciones orientadas al desarrollo de unidades ortésicas para solucionar diferentes problemas ortopédicos caninos (Cortes, 2013; Herrera et al. 2020; Rocha, 2019; Rubio, 2019). Igualmente, en Ecuador, también se han producido avances, especialmente en el desarrollo de dispositivos ortéticos destinados a la rehabilitación de las extremidades de perros (Zambonino, 2019; Nacevilla, 2018). Asimismo,

en Ecuador esta tendencia académica se ha visto complementada por la producción comercial de dispositivos ortéticos por diferentes empresas como: OrtoCanis®, OrthoPets®, Walkin'pets®, HeroBraces, K-9 Orthotics & Prosthetics Inc, Ortopedia mascota® y Ortopedia canina®.

No obstante, para el desarrollo prometedor de órtesis asociado a la rehabilitación ortopédica, es importante la generación de nuevas investigaciones y que la producción comercial de ortesis tenga una mayor proyección social. En este sentido, es necesario hacer un esfuerzo a futuro para desarrollar y producir modelos de dispositivos apegados a las geometrías naturales del paciente y con costos accesibles que favorezca extensivamente su uso.

Metodología

Para identificar las necesidades, ha sido fundamental establecer un canal de comunicación de alta calidad con el usuario final del producto, lo cual requirió retroalimentación. La recopilación de datos implicó interactuar con los usuarios directos e indirectos, y observar su experiencia de uso del producto. Para lograr este objetivo, los métodos principales de recopilación de datos fueron las entrevistas, encuestas a expertos y fichas de observación. En este caso, los usuarios directos han sido los perros que han sufrido lesiones en las extremidades anteriores, mientras que los usuarios indirectos fueron los dueños de dichos perros. Se trabajó en colaboración con pacientes de la clínica veterinaria Sr. Pets, ubicada en la ciudad de Ibarra, Ecuador.

Tabla 1

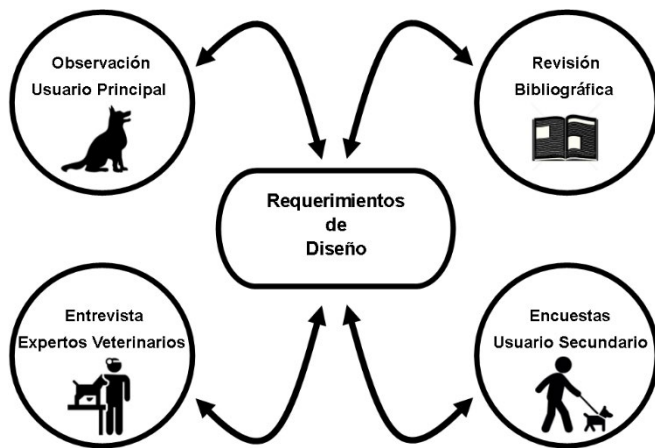
Lista de usuarios secundarios dueños de canes

Usuario	Nombre	Edad	Raza de perro	Diagnóstico
1	Yoga	4 años	Pinscher miniatura	Fractura múltiple
2	Apolo	2 años	Pinscher miniatura	Fractura simple en las dos patas delanteras
3	Nico	5 años	Chihuahua	Hipocalcemia
4	Simba	1 aprox.	Mestizo	Esguince
5	Leo	7 años	Bull terrier	Luxación del metacarpo
6	Tommy	2 años	Poodle	Fractura múltiple
7	Kiara	2 años	Mestizo	Fractura cerrada
8	Tayra	5 años	Labrador	Fractura simple
9	Horus	6 años	Akita	Fractura del radio
10	Bob	3 años	Labrador	Luxación del cúbito
11	Manchas	5 años	Mestizo	Esguince
12	Dash	6 años	Husky	Ataxia
13	Max	1 año	Cocker	Fractura metacarpo
14	Bruno	2 aprox.	Mestizo	Fractura simple
15	Kira	2 años	Poodle	Fractura cerrada
16	Lupita	1 año	Pinscher miniatura	Esguince
17	Dona	3 años	Bull terrier	Luxación del cúbito
18	Maya	4 años	Mestizo	Esguince
19	Noa	2 años	Husky	Luxación en el metacarpo
20	Turbo	1 aprox.	Mestizo	Fractura cerrada

Es importante destacar que en esta investigación no se calculó el tamaño de muestra necesario para obtener resultados estadísticamente significativos, debido a la falta de una base de datos sobre perros accidentados en la zona norte del país y a la falta de divulgación de esta información por parte de los centros veterinarios y fundaciones. Por lo tanto, se trabajó únicamente con veinte pacientes de la clínica Sr. Pets. (ver *Tabla 1*).

2.1. Requisitos de la ortesis

Se procedió a analizar y contrastar esta información (consultar *Figura 1*) con la literatura científica pertinente sobre el tema en cuestión. Esto con el objetivo de generar alternativas de diseño que se ajusten a los requisitos establecidos. Además, se contó con la orientación de un especialista en traumatología veterinaria para asegurar la idoneidad de las propuestas.

Figura 1*Proceso de recolección de requerimientos.*

Se implementaron once variables de diseño fundamentales que deben ser consideradas en la ortesis canina de inmovilización. Estas variables fueron las siguientes: *comodidad, seguridad, facilidad de montura, resistencia al agua, peso, funcionalidad, ajustabilidad, transpirabilidad, asepsia, estética y costo*. La *comodidad* se refiere al nivel de bienestar físico que proporciona el uso de la ortesis al animal; la *seguridad* está relacionada con la confianza en la ortesis y la ausencia de riesgos al utilizar el dispositivo. La *facilidad de montura* se refiere a la facilidad con la que el usuario secundario o el veterinario pueden colocar la ortesis en el perro. La *resistencia al agua* implica que el material de la ortesis no sea soluble en el agua, permitiendo su uso en condiciones húmedas. El *peso* se refiere a la ligereza o peso del dispositivo, teniendo en cuenta la comodidad del perro al llevarlo puesto. La *funcionalidad* está directamente relacionada con la capacidad de la ortesis para permitir la marcha y el movimiento normal del animal. La *ajustabilidad* se refiere a la capacidad de ajustar la ortesis a diferentes tamaños y holguras, adaptándose a las necesidades individuales del perro. La *transpirabilidad* asegura que la humedad de la transpiración pueda escapar rápidamente, evitando la acumulación de humedad y la irritación en la piel. La *asepsia* se refiere a la capacidad de la ortesis de mantener un ambiente limpio y prevenir la aparición de nuevos problemas o infecciones. La *estética* está asociada a la apariencia física de la ortesis, buscando un diseño atractivo y estéticamente agradable. Por último, el *costo* se refiere al valor económico necesario para adquirir la ortesis, teniendo en cuenta la accesibilidad y el presupuesto del usuario.

Estas variables de diseño son fundamentales para desarrollar una ortesis canina de inmovilización que cumpla con los requisitos de diseño y costo establecidos.

2.2. Diseño de la ortesis

Una vez identificadas las necesidades y requisitos, se procedió al desarrollo de distintas alternativas de solución para el diseño de la ortesis. Se proponen diferentes formas generales que definieron el tipo de producto a desarrollar. La propuesta 1 consistió en un diseño enfocado en proporcionar protección adicional a la zona inferior del pie y brindar un soporte para posicionar

correctamente la extremidad, como se muestra en la *Figura 2a*. Por otro lado, la propuesta 2 se centra en ofrecer mayor comodidad y ligereza al producto, al tiempo que protege la zona inferior del pie y proporciona un soporte adecuado para la extremidad, también ilustrado en la *Figura 2b*.

La propuesta 3 está diseñada para otorgar ligereza e inmovilización a la pierna del animal, proporcionando protección, pero permitiendo que el animal no apoye la pata y pueda sentir el suelo, lo cual puede brindar una sensación de comodidad, tal como se muestra en la *Figura 2c*. Por último, la propuesta 4 es el modelo más simple y ligero, diseñado específicamente para cubrir y estabilizar el área afectada del animal, también representado en la *Figura 2d*.

Figura 2

Propuestas del diseño, dimensión y tipo de la órtesis: a) Propuesta 1, b) Propuesta 2, c) Propuesta 3, d) Propuesta 4.



En la conceptualización del producto se buscó un enfoque simple, integrando elementos computacionales que imiten la morfología del animal para lograr una adaptación más efectiva. La forma del objeto se ha diseñado con líneas continuas, suaves y acabados lisos, junto con detalles sutiles, y se ha dejado espacios libres para minimizar la invasividad para el animal.

Para la selección de la forma y los mecanismos de sujeción, se siguió un proceso analítico jerárquico (AHP), utilizando el paquete computacional Expert Choice Solutions®. Este proceso de toma de decisiones ayudó a establecer prioridades y tomar la mejor decisión al considerar aspectos cualitativos y cuantitativos. Se asignaron pesos a las opciones planteadas tanto para los criterios como para las alternativas.

En el esquema preliminar del diseño de la forma, se presentaron alternativas de geometrías orgánicas que concilian el concepto de diseño generativo y se relacionan con los sistemas ortésicos contemporáneos.

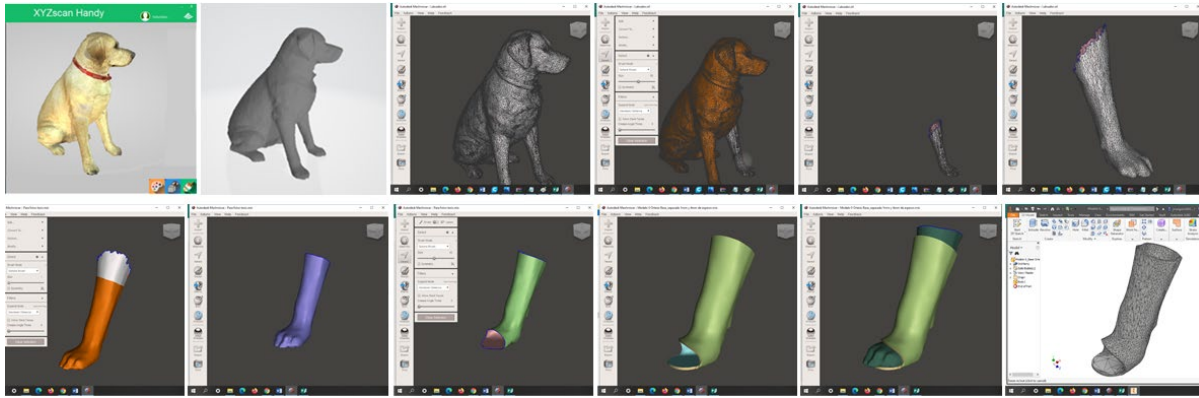
2.3. Diseño morfológico de la ortesis

Bajo la premisa del método propuesto por Cusco (2018); Arízaga (2019); Herrera (2019) y Suarez ete al. (2019) en donde morfológicamente diseñaron la órtesis utilizando la tecnología de escaneo e impresión 3D (ver *Figura 3*), se desarrolló un modelo computarizado fiel a las formas

naturales del miembro afectado. Este ha sido la geometría de partida, la cual fue única para cada paciente.

Figura 3

Proceso de escaneado y modelado en 3D



Una vez finalizado el proceso de escaneo y modelado tridimensional de la extremidad del animal, se procedió a imponer los requisitos necesarios para generar alternativas con el enfoque de diseño generativo utilizando Autodesk Fusion360®.

Los parámetros específicos fueron: un espesor mínimo de 5 mm, una reducción del 50% del material, un factor de seguridad de 1.5, fuerzas aplicadas a la órtesis de 300 N en diferentes direcciones, una gravedad de $9,807 \text{ m/s}^2$, el material PETG como opción y la tecnología de fabricación fue la manufactura aditiva. A partir de las dieciséis propuestas generadas por el programa, se seleccionaron aquellas que cumplieron de forma más ajustada los once criterios establecidos previamente. Estas propuestas fueron identificadas por modelos de la siguiente manera:

Modelo 1: Se propone una ortesis de diseño abierto, que se basa en formas orgánicas regulares en la mayor parte de su estructura, como se ilustra en la *Figura 4a*.

Modelo 2: La siguiente propuesta consiste en una ortesis cerrada que se fundamenta en formas orgánicas y cuenta con refuerzos en áreas estratégicas, como se muestra en la *Figura 4b*.

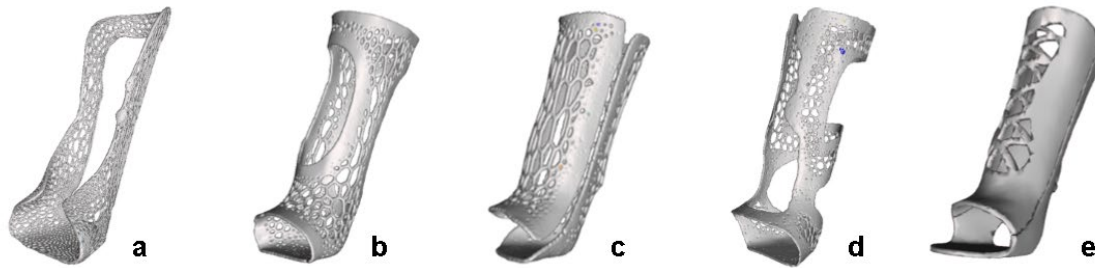
Modelo 3: Esta propuesta presenta una ortesis abierta con orificios orgánicos de menor densidad en comparación con las propuestas anteriores, además de contar con refuerzos en áreas estratégicas del producto, como se muestra en la *Figura 4c*.

Modelo 4: Este modelo exhibe un diseño cerrado con formas orgánicas regulares y refuerzos ubicados estratégicamente, como se presenta en la *Figura 4d*.

Modelo 5: Muestra un diseño abierto ligeramente más conservador, con formas orgánicas de mayor tamaño, pero menos distribuidas, al mismo tiempo que presenta refuerzos en áreas estratégicas, como se ilustra en la *Figura 4e*.

Figura 4

Propuestas de diseño: a) Modelo 1, b) Modelo 2, c) Modelo 3, d) Modelo 4, e) Modelo 5.



Otro paso crítico en el desarrollo de la ortesis fue la definición del sistema o mecanismo de sujeción al animal. Existen distintos referentes comerciales que sirvieron como base para el diseño de estos sistemas. A continuación, se describen las siguientes propuestas:

Sistema de sujeción 1: Se planteó el uso de una cinta elástica de polisopreno sintético (sin látex) como método de sujeción. Esta cinta elástica presenta características como alta resistencia al calor, excepcional resistencia al lavado, cero encogimientos y una distribución equitativa de tensión y carga. El objetivo fue que las pestañas del prototipo puedan entrelazarse con la cinta elástica para lograr la sujeción del producto, como se muestra en la *Figura 5a*.

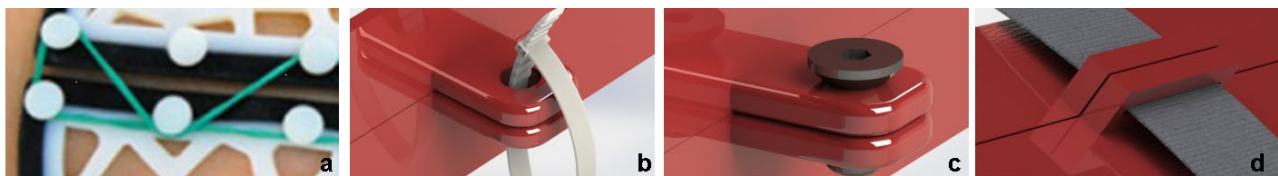
Sistema de sujeción 2: Este modelo de sujeción utilizó bridas o amarras plásticas comerciales, que consistieron en una cinta de nylon resistente con una cremallera integrada. Estas bridas se insertaron en las pestañas laterales de la ortesis, como se ilustra en la *Figura 5b*.

Sistema de sujeción 3: Esta opción propuso el uso de tornillos roscados (pernos) en las pestañas laterales para lograr la sujeción. La *Figura 6c* muestra este sistema de sujeción.

Sistema de sujeción 4: Esta propuesta utilizó cintas de velcro para la sujeción, que se insertan en las pestañas laterales y se envuelven alrededor de la ortesis, como se representa en la *Figura 5d*.

Figura 5

Propuestas: a) Mecanismo 1, b) Mecanismo 2, c) Mecanismo 3, d) Mecanismo 4.



Por otro lado, la ortesis ha sido diseñada con la finalidad de ser fabricada mediante impresión 3D, y para este propósito se ha elegido el uso del material PETG (Polietileno Tereftalato modificado con glicol). En el contexto ecuatoriano, el PETG se posiciona como el tercer material más popular después del PLA y el ABS. A diferencia de estos, el PETG ofrece una mayor resistencia mecánica que el PLA y una mayor facilidad de impresión en comparación con el ABS.

La elección del PETG como material base se fundamentó en su notable durabilidad, buena capacidad de adhesión, resistencia a la rotura, capacidad de bloqueo a la humedad y a productos químicos. Estas propiedades lo convirtieron en el termoplástico más adecuado para ser utilizado como materia prima en el proceso de impresión 3D para este proyecto en particular.

Asimismo, la órtesis contó con un revestimiento interno de neopreno, un polímero de cloropreno ampliamente utilizado en dispositivos ortopédicos. El neopreno ha mostrado resistencia a solventes y agentes químicos, y su elasticidad dificulta su deformación mediante pliegues. No obstante, su característica más destacada radica en su capacidad para resistir daños provocados por la flexión y torsión, lo cual contribuye significativamente a brindar un mayor nivel de comodidad al usuario de la ortesis.

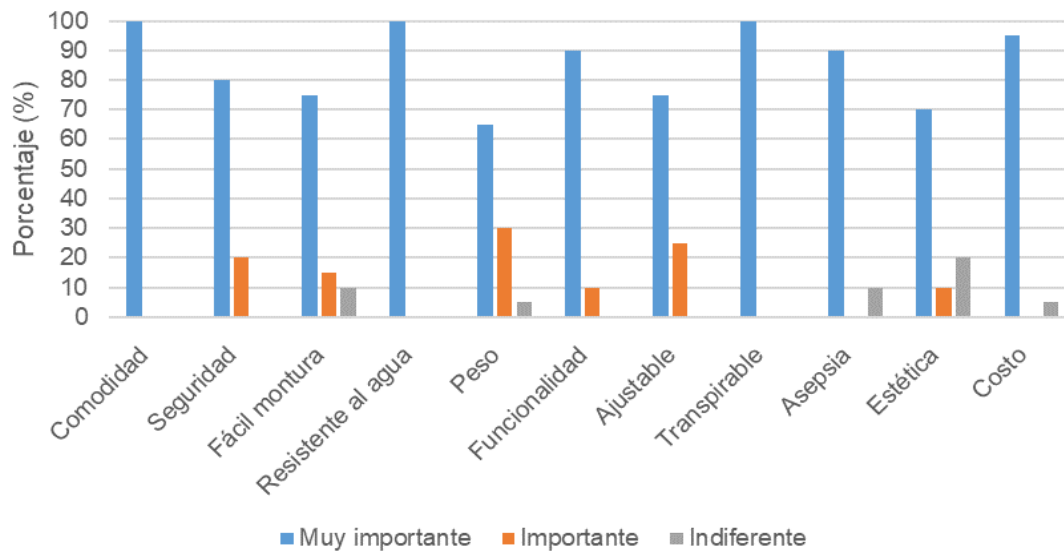
Resultados

3.1. Características de la ortesis de inmovilización

La *Figura 6* muestra los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas a veinte usuarios indirectos y especialistas veterinarios, en relación a las características de la órtesis.

Figura 6.

Resultados de encuestas con respecto a las características de la ortesis de inmovilización canina.



El factor de comodidad ha sido considerado como muy importante por el 100% de los encuestados. Los usuarios indirectos relacionan la comodidad con la capacidad del animal para caminar sin dificultades, pero en todos los casos, los animales (perros) experimentaron dolor y no pueden caminar normalmente.

La seguridad fue otro aspecto de gran importancia, siendo mencionada como muy importante por el 80% de los encuestados. Los usuarios la asociaron directamente con la capacidad del animal para llevar a cabo sus actividades diarias sin riesgo de desajuste.

El tiempo y la dificultad de colocación del dispositivo en el animal también han sido considerados. Los veterinarios valoraron que el dispositivo sea práctico y de fácil instalación, mientras que los usuarios indirectos no le dieron tanta importancia, ya que suelen recurrir a un especialista veterinario para esta tarea. Sin embargo, no se percataron de que ahora podrán lavar fácilmente la zona afectada del animal. Todos los encuestados coincidieron en la importancia de tener un dispositivo de inmovilización que no se disuelva en el agua ni cause molestias por la absorción de la misma.

La ligereza de la ortesis fue considerada muy importante por el 65% de los encuestados, ya que, en comparación con los yesos convencionales, representa una carga innecesaria e incómoda para el animal. La funcionalidad también fue valorada, aunque resultó difícil de medir en una encuesta. El 90% la consideró muy importante y el 10% restante la consideró importante. Los veterinarios solicitaron expresamente este requisito, ya que les permite ajustar la ortesis a medida que la extremidad se desinflama debido al tratamiento de la fractura. Por lo tanto, independientemente del resultado, era un requisito indispensable para el dispositivo de inmovilización a desarrollar.

La transpirabilidad y la asepsia del producto fueron aspectos muy importantes para el 95% de los encuestados, y esto está relacionado con el daño dermatológico causado por los dispositivos de inmovilización convencionales. Solo el 20% consideró que la estética no es relevante en las ortesis, mientras que el 80% coincidió en que el dispositivo debe tener un valor agregado que realce su apariencia.

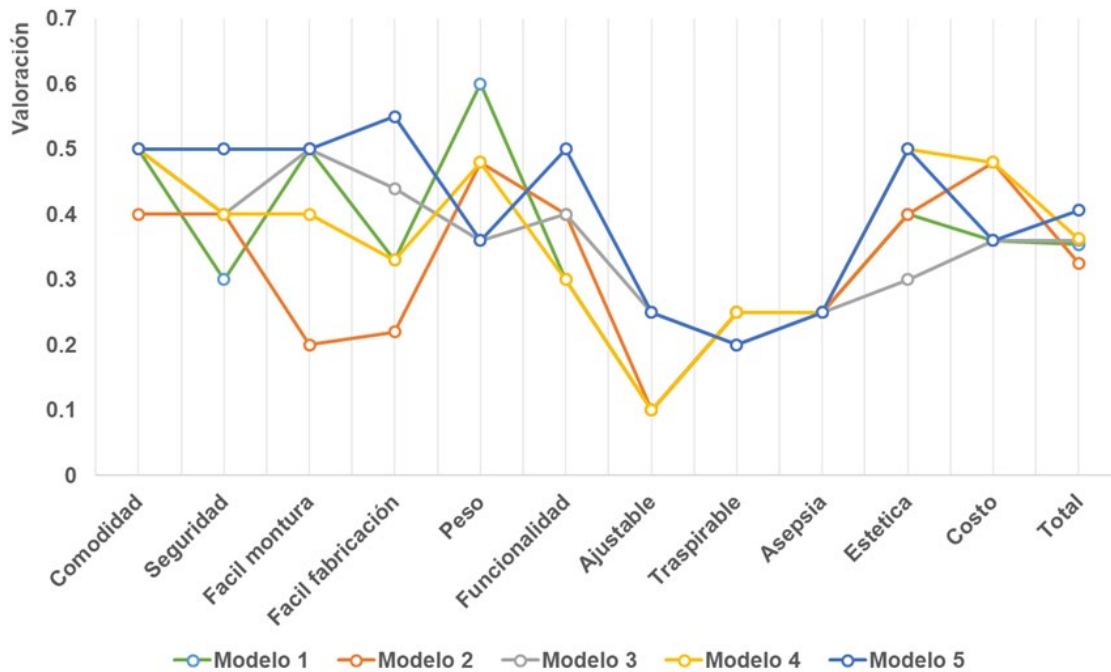
Por último, el aspecto económico fue tomado muy en serio e importante por el 100% de los encuestados, ya que esto determina si el animal tendrá que sufrir las consecuencias del accidente de por vida o no.

3.2. Análisis jerárquico para selección de alternativas

Después de realizar una evaluación exhaustiva de las cuatro propuestas de solución para el desarrollo y dimensionamiento de la órtesis, utilizando el método de selección jerárquica, se concluyó que la propuesta 1 obtuvo los resultados más favorables (ver *Figura 7*). Esta propuesta se destacó por su atractivo estético, su versatilidad en funciones, la protección que brinda a la zona inferior del pie y su capacidad para posicionar la extremidad de manera adecuada.

Figura 7

Resultados para la síntesis de forma de la órtesis.

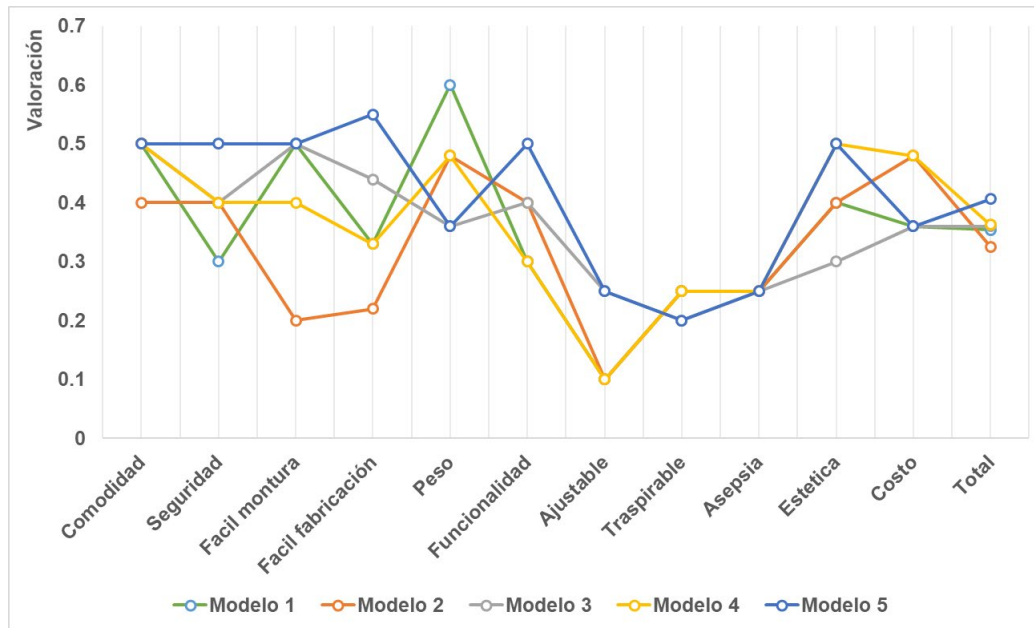


Asimismo, se llevó a cabo un análisis detallado de las cinco propuestas de forma de la ortesis (ver *Figura 4*). Se dio especial importancia a la ligereza, seguridad, dificultad de fabricación y costo de las propuestas. Cabe destacar que los valores relacionados con la “ligereza del producto” y “seguridad” se obtuvieron utilizando el software Autodesk Fusion360®.

Al aplicar el método jerárquico y analizar los datos obtenidos, se determinó que la propuesta más adecuada en cuanto a la forma de la ortesis fue la propuesta 5 (ver *Figura 8*). Esta propuesta se caracteriza por contar con orificios de tamaño considerable y patrones irregulares, lo cual contribuye a reducir su peso. Aunque conservadora en comparación con las otras propuestas, cumple con los requisitos necesarios para brindar un óptimo desempeño.

Figura 8

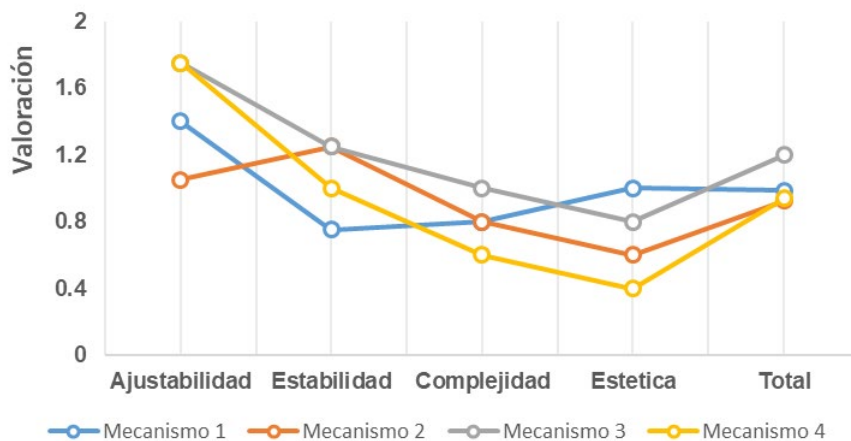
Resultados para la síntesis de forma de la órtesis.



En la *Figura 8* se puede observar que las cinco propuestas exhiben similitudes en términos de comodidad, transpirabilidad y asepsia. Sin embargo, las diferencias más notables se encontraron en la ligereza del producto, facilidad de instalación, dificultad de fabricación y estética. Destacó el modelo cinco como superior en estas características en comparación con las demás propuestas.

Figura 9

Resultados para la síntesis del mecanismo de sujeción.



Además, se procedió a seleccionar el mecanismo de sujeción, comenzando con la exploración de alternativas y la definición de criterios: ajustabilidad para adaptarse a la forma de la extremidad,

estabilidad del sistema, complejidad del ajuste y estética. Estos se plantean en función de su importancia, priorizando la ajustabilidad para adaptarse al cambio de la extremidad durante el proceso de desinflamación, así como la estabilidad del sistema para permitir movimientos cotidianos del animal, como caminar o sentarse. Para el mecanismo, se consideró con mayor énfasis la facilidad de la instalación y el mejor ajuste al diseño estético del conjunto.

Tras evaluar las alternativas según los criterios y su ponderación, se determinó que el mecanismo más apropiado es el tres (3), como se muestra en la *Figura 9*. El mecanismo 1 destacó por su buena estética, pero su estabilidad y complejidad en la colocación comprometieron su valoración en la selección. El mecanismo 2 mostró una excelente estabilidad, pero la dificultad en el ajuste y la estética del sistema lo descartan. El mecanismo 4, aunque ha sido ampliamente utilizado en ortesis humanas y ofrece una gran ajustabilidad, no cumplió con la estética deseada para este proyecto. En contraste, el mecanismo 3 mostró una calificación constante en los diferentes aspectos evaluados. Posee un buen sistema de ajuste, una adecuada estabilidad y una estética que se alinea con el diseño general del producto. Por estas razones, se seleccionó el mecanismo 3 como la opción más adecuada.

3.3. Generación de la geometría propuesta

Después de realizar la selección tanto de la forma de la ortesis como del sistema de sujeción, se procedió a combinar ambas propuestas para crear el producto final. La *Figura 10* mostró el proceso de diseño, mientras que la *Figura 11* ofreció un diseño detallado de la geometría. Por último, la *Figura 12* proporcionó una visualización del producto en uso, brindando una representación realista de cómo se ve y se utiliza.

Figura 10

Proceso de optimización del material en el desarrollo de la ortesis.

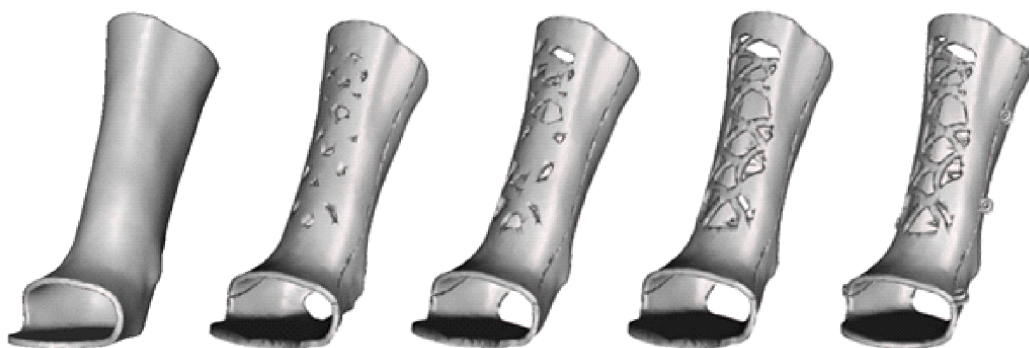


Figura 11

Geometría propuesta refinada para la órtesis de inmovilización de extremidad delantera para perros.



Figura 12

Órtesis propuesta en uso.



3.4. Análisis estructural de la órtesis de inmovilización

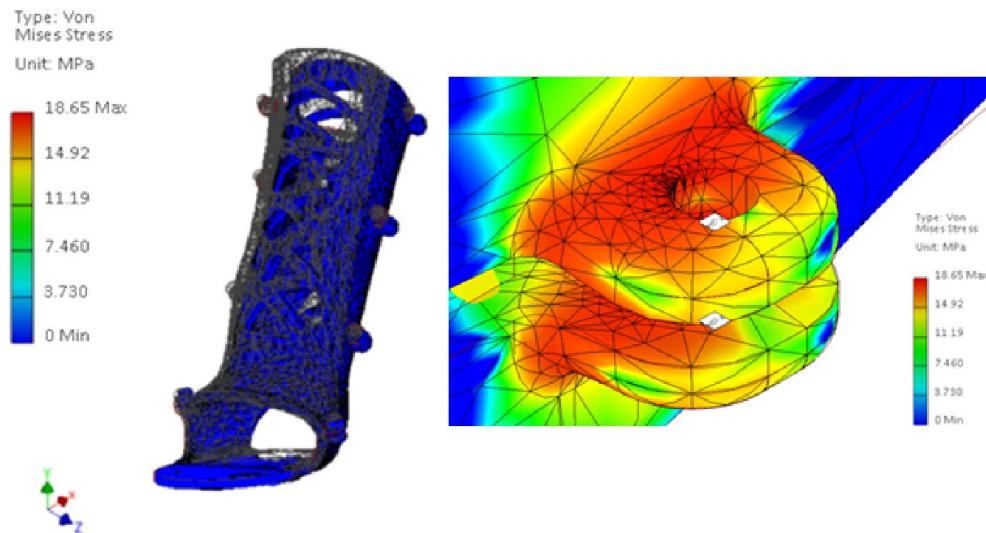
El análisis estructural de la órtesis de inmovilización se llevó a cabo utilizando el método de elementos finitos (MEF). En este análisis, se consideraron las piezas involucradas en el diseño, como la órtesis fabricada con PETG y los tornillos de acero inoxidable.

La simulación realizada fue de tipo estático, considerando que el material es lineal e isotrópico. La carga aplicada correspondió al peso del animal, en este caso, 40 kg. En la *Figura 13*, se mostró

la distribución del esfuerzo equivalente de Von Misses. El esfuerzo generado por el peso del animal fue menor que la resistencia del material, ya que no superó los 18.65 MPa, mientras que la resistencia a la fluencia del PETG fue de 49 MPa. Por lo tanto, cumplió con el factor de seguridad, por lo que, no sufrió deformaciones permanentes.

Figura 13

Distribución de los esfuerzos de Von Misses en las ortesis.



Para la fabricación del prototipo de la ortesis de inmovilización, se utilizó la tecnología aditiva o impresión 3D, como se ilustra en la *Figura 14*. En la *Figura 15* se aprecia el prototipo final.

Figura 14

Fabricación de la órtesis en una impresora 3D.



Figura 15

Órtesis de inmovilización de extremidad delantera para perros.



Es importante destacar que era fundamental para este proyecto desarrollar un dispositivo ortésico de bajo costo. Por tanto, se llevó a cabo un análisis del costo asociado a la construcción del prototipo, considerando los precios de referencia de casas comerciales ubicadas en la ciudad de Ibarra. Los resultados de este análisis se presentan en la *Tabla 2*.

Tabla 2

Presupuesto para fabricación del prototipo

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Costo (USD)
8	Tornillo Allen M4 x 10mm - cabeza plana	8,00	0,14 pza	1,12
1	Filamento PETG	25,00	0,25 Kg	6,25
1	Neopreno	1,00	4,00 pza	4,00
1	Ensamblado y calibrado	2,00	1,00 serv.	2,00
1	Servicio eléctrico y depreciación de maquinas	1,00	2,50 serv	2,50
			Total	USD 15,87

3.5. Trabajos Futuros

Una vez completada la fase actual del proyecto, se vislumbran varias direcciones para futuras investigaciones y desarrollos.

- **Evaluación de la Durabilidad:** Un aspecto crucial que planeamos abordar en futuros trabajos es la evaluación del tiempo de durabilidad de la órtesis para perros. Esto implicará pruebas exhaustivas para determinar la resistencia y longevidad del dispositivo en condiciones de uso real.

- **Estudios de Rehabilitación:** Nos proponemos realizar estudios comparativos entre nuestra ortesis y otras opciones disponibles en el mercado, incluyendo pruebas con materiales técnicos de impresión 3D (Nailon, TPE, TPU, TPC y Fibra de carbono). Estos estudios evaluarán la efectividad de nuestra ortesis en el proceso de rehabilitación de perros afectados por lesiones o condiciones musculoesqueléticas.
- **Experimentación en Individuos:** Como se mencionó anteriormente, la siguiente fase de nuestro proyecto involucra pruebas con 20 individuos caninos. Este experimento nos permitirá recopilar datos valiosos sobre la aceptación, comodidad y efectividad de nuestra ortesis en un entorno práctico.
- **Iteración del Diseño:** Basándonos en los resultados obtenidos de las pruebas experimentales, planeamos iterar en el diseño de la ortesis para optimizar su funcionalidad y desempeño. Esto incluirá ajustes en la forma, el tamaño, los materiales y otros aspectos relevantes del diseño.
- **Validación Clínica:** Una vez finalizado el proceso de iteración del diseño, buscamos llevar a cabo estudios de validación clínica en colaboración con profesionales veterinarios. Estos estudios garantizarán que nuestra ortesis cumpla con los estándares requeridos en términos de seguridad, eficacia y beneficio clínico para los pacientes caninos.

Conclusiones

Se incorporó el uso de programas de diseño, ingeniería y fabricación asistida por computadora en el proceso de diseño, lo que permitió una metodología combinada que consideró aspectos estéticos, económicos y funcionales. Esto tiene el potencial de impulsar la innovación de productos en el mercado nacional, ya que se pueden realizar simulaciones previas a la construcción del prototipo para visualizar su comportamiento en servicio en un tiempo reducido.

Se logró desarrollar una propuesta de diseño que cumplió con los parámetros establecidos y utilizó materiales disponibles en el mercado nacional, lo que garantizó que el dispositivo sea accesible en cuanto a su costo, que es inferior a \$20. El diseño propuesto para la ortesis de inmovilización se basa en un concepto sencillo y utiliza mecanismos de sujeción adaptados a la morfología del animal, lo que favorece una mejor adaptación y comodidad para el perro.

El diseño pretende contribuir significativamente a los procedimientos de inmovilización realizados por veterinarios, ahorrando tiempo y reduciendo la molestia para el animal durante la inserción del dispositivo.

Referencias

- Antoñana, J., García, B., y Megía, A. (2019). Developing a smart 3D printed canine orthosis. *Actas del IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), United Arab Emirates*, 246-251. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9001854>
- Arízaga, X. (2019). *Desarrollo de órtesis (férula) de tobillo y pie obtenido mediante técnica de escaneo, análisis CAD/CAE y prototipado rápido en 3D* [Tesis de posgrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20909>
- Cortes, M. (2013). *Inmovilizador para extremidades anterior en canino, con incapacidad temporal causada por fracturas simples, a bajo costo* [Tesis de grado, Universidad Católica de Pereira]. Repositorio Universidad Católica de Pereira. <http://hdl.handle.net/10785/1976>
- Cusco, B. (2018). *Desarrollo de un sistema electrónico para controlar la trayectoria en el escaneo 3D de extremidades del cuerpo humano con una cámara Kinect* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16426>
- Herrera, L. (2019). *Diseño y desarrollo de una férula de miembro superior escaneada e impresa en 3D* [Tesis de grado, Universidad de Valladolid]. Trabajos Fin de Grado UVA. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/37756>
- Herrera, M., Joya, J., y Villegas, D. (2020). Síntesis y modelado de un mecanismo para corrección de displasia de cadera en perros de raza mediana y grande. *UIS Ingenierías*, 19(4), 279-286. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020023>
- Megía, A., García, B., y Antoñana, J., (2021). Desarrollo de una órtesis canina sensorizada mediante fabricación aditiva. *Dyna*, 96(2), 150-153. <https://doi.org/10.6036/9640>
- Mesa, A. (2020). *Disseny i fabricació de fèrules per a gats amb impressió 3D* [Tesis de grado, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona]. UPCommons. <http://hdl.handle.net/2117/330240>
- Murakami, S., Harada, Y., y Hara, Y. (2021). Alterations in the ground reaction force of dogs during trot after immobilization of the stifle joint: An experimental study. *Journal of Veterinary Medical Science*, 83(2), 297-303. <https://doi.org/10.1292/jvms.20-0249>
- Nacevilla, M. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de control sobre una adaptación de órtesis veterinaria para la rehabilitación de rodilla en caninos de la fundación PAE* [Tesis doctoral, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14858>.
- Pascual, I. (2019). *Diseño de órtesis para la rehabilitación de las extremidades delanteras en canes* [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional UPV. <http://hdl.handle.net/10251/127971>

- Rocha, J. (2019). *Dog Soul: Discapacidad física canina* [Tesis de grado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. Trabajos de Grado de Pregrado. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/9834>
- Rubio, A. (2011). *Diseño de órtesis económica para perros con displasia de cadera, con tecnología disponible en el contexto guatemalteco* [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar]. Studocu. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-nacional-abierta-y-a-distancia/algebra-lineal/rubio-ana-presentado/39502087>
- Segnini, J., Vergara, M., y Provenzano, S. (2017). Prospectiva para el diseño y fabricación de una ortesis impresa en 3D. En M. Vergara, M. Díaz, F. Rivas y m. Restrepo (Eds.), *Diseño de dispositivos de rehabilitación y órtesis* (págs. 153-175). Centro de Publicaciones.
- Segnini, J., Fernández, M., Velasco, J., y Vergara, M. (2022). Órtesis de inmovilización impresos en 3D para perros: revisión sistemática de la literatura. *Revista ODIGOS*, 3(3), 27-40. <https://doi.org/10.35290/ro.v3n3.2022.636>
- Suarez, O., León, J., Castro, D., y Velásquez, A. (2019). Diseño de un sistema de perfilación de férulas mediante el escaneo 3D de muñeca, brazo y tobillo para fines de impresión 3D. *Infometrica*, 2(1), 94-113. <http://www.infometrica.org/index.php/syh/article/view/70>
- Torres, B., Fu, Y., Sandberg, G., y Budsberg, S. (2017). Pelvic limb kinematics in the dog with and without a stifle orthosis. *The American College of Veterinary Surgeons*, 46(5), 642–652. [doi:10.1111/contra.12634](https://doi.org/10.1111/contra.12634)
- Wagoner, A., Allen, M., Zindl, C., Litsky, A., Orsher, R., y Ben, R. (2018). Evaluating Stiffness of Fibreglass and Thermoplastic Splint Materials and Inter-fragmentary Motion in a Canine Tibial Fracture Model. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 31(3), 176-181. [doi:10.1055/s-0038-1637744](https://doi.org/10.1055/s-0038-1637744)
- Zambonino, J. (2019). *Diseño de férulas para tratamientos traumatológicos en canes que necesiten inmovilización mediante un estudio zoométrico* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/13174>
- Segnini, Vergara y provenzano https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=segnini%2C+vergara%2C+provenzo&btnG=#d=gs_cit&t=1716505272420&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3APtUnM7LHWNIJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D4%26hl%3Des

Copyright (2024) © José Miguel Segnini Maizo, Karen Dayana Imbago Arevalo, Mary Josefina Vergara
Paredes



Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons](#) 4.0.

Usted es libre para Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato — y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia – Texto completo de la licencia](#)