



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador | Sede
Ambato

ESCUELA DE INGENIERÍAS

Tema:

**DISPOSITIVO ORTOPÉDICO PARA FRACTURAS DE RADIO Y CÚBITO EN
CANES A TRAVÉS DE INGENIERÍA INVERSA**

**Proyecto de investigación previo a la obtención del título de
Ingeniero en Diseño Industrial**

Línea de investigación:

**DISEÑO, INFRAESTRUCTURA, SISTEMAS SOCIALES Y AMBIENTALES PARA
UN HÁBITAT SOSTENIBLE**

Autor:

Isaac Emilio Betancourt López

Director:

Mg. Juan Carlos Palacios Proaño

Ambato – Ecuador

Agosto 2025

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo: **ISAAC EMILIO BETANCOURT LÓPEZ**, con cédula de ciudadanía **1804394763**, autor del trabajo de graduación intitulado: "DISPOSITIVO ORTOPÉDICO PARA FRACTURAS DE RADIO Y CÚBITO EN CANES A TRAVÉS DE INGENIERÍA INVERSA", previo a la obtención del título profesional de **INGENIERO EN DISEÑO INDUSTRIAL**, en la escuela de **INGENIERÍAS**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE Ambato, el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Ambato, agosto 2025



Isaac Emilio Betancourt López

CC. 1804394763

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE AMBATO
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Tema:

DISPOSITIVO ORTOPÉDICO PARA FRACTURAS DE RADIO Y CÚBITO EN
CANES A TRAVÉS DE INGENIERÍA INVERSA

Línea de investigación:

DISEÑO, INFRAESTRUCTURA, SISTEMAS SOCIALES Y AMBIENTALES PARA
UN HÁBITAT SOSTENIBLE

Autor:

Isaac Emilio Betancourt López

Juan Carlos Palacios Proaño, Ing. Mg.

CC. 1802752632

CALIFICADOR

f. 

Delia Angélica Tirado Lozada, Dis. Mg.

CALIFICADOR

f. 

Pablo Israel Amancha Proaño, Ing. Mg.

CALIFICADOR

f. 

Darío Javier Robayo Jácome, Ing. Mg.

DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍAS

f. 

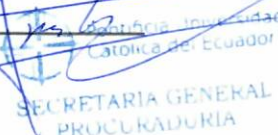
Diego Gonzalo Coca Chanalata, Dr.

SECRETARIO GENERAL PUCESA

f. 

Ambato – Ecuador

Agosto 2025


SECRETARIA GENERAL
PROCURADURIA

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, me gustaría expresar mi más profunda gratitud a mi madre, que ha sido mi motor desde la infancia. Su dedicación, esfuerzo y amor incondicional han sido pilares fundamentales para mí y mis hermanos. Gracias por enseñarnos a ser mejores a tu manera, por ser un ejemplo de fortaleza y por ser la razón que me hizo continuar con mis estudios. Eres y siempre serás mi mayor fuente de inspiración y apoyo.

A mis hermanos, gracias por acompañarme en cada etapa de mi vida, por su constante compañía, confianza y apoyo incondicional, gracias, Mateo por haberme cuidado y acompañado, tu existencia y presencia es una motivación constante para mí.

A mis abuelos, que con su inmenso amor y dedicación siempre han estado presentes en mi vida y en la de mis hermanos. Gracias por todo lo que han hecho por nosotros, por vuestra sabiduría, por demostrar su amor en cada gesto y por ser un elemento esencial de mi vida.

A Samantha, gracias por apoyarme tanto académica como emocionalmente, has sido clave para llegar hasta aquí tan rápido. Gracias por motivarme, por ayudarme con deberes cuando lo necesite, por empujarme a no rendirme nunca y por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía.

A mis amigos gracias por acompañarme y estar cerca cuando lo necesito así yo nunca lo diga.

Y a toda mi familia les agradezco inmensamente, a todos los llevo en mi corazón y en mi mente, con amor y gratitud eterna, los amo y gracias por todo, Este logro no es solo mío, también es suyo.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como propósito desarrollar un dispositivo ortopédico para tratar fracturas de radio y cúbito en perros, utilizando herramientas de ingeniería inversa. El trabajo surgió a partir de una problemática frecuente en la medicina veterinaria ecuatoriana: la escasez de dispositivos diseñados específicamente para animales domésticos. Muchos veterinarios emplean productos genéricos o importados que no se ajustan bien a la anatomía canina, afectando la recuperación y generando molestias o complicaciones. Ante esta situación, se planteó como objetivo diseñar un dispositivo que responda a las necesidades reales de los perros de raza pequeña con fracturas, integrando conocimientos clínicos y herramientas tecnológicas. Se investigaron las características de dispositivos existentes, se seleccionaron recursos adecuados de ingeniería inversa, se diseñó un prototipo y se evaluó su efectividad mediante el criterio de expertos.

La metodología fue cualitativa, con un diseño exploratorio-descriptivo y de tipo aplicado, incorporando el modelo *Design Thinking* en las fases de empatía, definición, diseño y validación. Se realizaron entrevistas a veterinarios, observaciones clínicas y análisis técnico mediante escaneo 3D y modelado CAD. El estudio se desarrolló en siete clínicas de Ambato, donde se recogieron experiencias reales. Como resultado, se diseñó un dispositivo funcional y resistente que superó el análisis de esfuerzos sin deformarse. Fue validado por los veterinarios participantes, quienes lo calificaron con un promedio de 4 sobre 5, destacando su utilidad clínica, calidad del material, costo accesible y comodidad para el animal. En conclusión, la ingeniería inversa permitió desarrollar una solución ortopédica adaptada al contexto local, promoviendo el bienestar animal y mejorando la rehabilitación.

Palabras clave: dispositivo ortopédico, fractura canina, ingeniería inversa, diseño veterinario, medicina animal.

ABSTRACT

This research aimed at developing an orthopedic device to treat radius and ulna fractures in dogs using reverse engineering tools. The project originated from a common issue in Ecuadorian veterinary medicine: the lack of devices specifically designed for domestic animals. Many veterinarians resort to the use of generic or imported products that do not properly fit canine anatomy, potentially compromising recovery and causing discomfort or complications. In response, the main objective was to design a device that addresses the actual needs of dogs with fractures by integrating clinical knowledge and technological tools. Existing orthopedic devices were analyzed, appropriate reverse engineering tools were selected, a prototype was designed, and its effectiveness was evaluated through expert assessment.

The methodology employed was qualitative, with an exploratory-descriptive and applied design, incorporating the Design Thinking model in the phases of empathy, definition, design, and validation. Interviews with veterinarians, direct clinical observations, and technical analysis through 3D scanning and CAD modeling were conducted. The study took place in seven veterinary clinics in the city of Ambato, where empirical data from professionals and pet owners were collected. As a result, a functional and resistant device was designed that withstood stress analysis without deformation. It was validated by participating veterinarians, who provided an average rating of 4 out of 5, highlighting its clinical usefulness, material quality, affordable cost, and comfort for the animal. In conclusion, reverse engineering enabled the development of an orthopedic solution tailored to the local context, contributing to improved veterinary treatment and promoting animal welfare through enhanced rehabilitation outcomes.

Keywords: *orthopedic device, canine fracture, reverse engineering, veterinary design, animal medicine, veterinary orthopedics.*

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD..... | ii |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO | iii |
| AGRADECIMIENTO..... | iv |
| RESUMEN..... | v |
| ABSTRACT | vi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA..... | 3 |
| 1.1. Dispositivos ortopédicos en medicina veterinaria | 3 |
| 1.2. Fracturas de radio y cúbito en canes | 12 |
| 1.3. La ingeniería inversa en el diseño biomédico y veterinario | 17 |
| CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO..... | 20 |
| 2.1. Enfoque de la investigación | 20 |
| 2.2. Diseño de investigación | 20 |
| 2.3. Grupo de estudio..... | 21 |
| 2.4. Recolección de la información..... | 22 |
| CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN | 54 |
| 3.1. Análisis estructural | 55 |
| CONCLUSIONES..... | 59 |
| RECOMENDACIONES | 61 |
| BIBLIOGRAFÍA | 63 |
| ANEXOS..... | 68 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Resumen técnicas de investigación..... | 23 |
| Tabla 2. Sistematización de preguntas..... | 24 |
| Tabla 3. Datos generales de los entrevistados..... | 25 |
| Tabla 4. Entrevista Dr. Ángel Soria..... | 26 |
| Tabla 5. Evaluación funcional de dispositivos ortopédicos en caninos..... | 27 |
| Tabla 6. Caracterización morfológica promedio en razas pequeñas tratadas | 36 |
| Tabla 7. Hallazgos claves | 36 |
| Tabla 8. Mapa de empatía | 36 |
| Tabla 9. Identificación de requisitos formales y técnicos del dispositivo..... | 38 |
| Tabla 10. Mapa problema-oportunidad..... | 38 |
| Tabla 11. Imágenes del dispositivo utilizado para el escaneo | 39 |
| Tabla 12. Propuestas iniciales de estudio | 41 |
| Tabla 13. Valor agregado del enfoque combinado..... | 42 |
| Tabla 14. Evaluación técnica de bocetos | 43 |
| Tabla 15. Comparación de materiales | 45 |
| Tabla 16. Análisis de costos | 51 |
| Tabla 17. Lista de cotejos a veterinarios | 54 |
| Tabla 18. Resultados mediante análisis estructural | 56 |
| Tabla 19. Proceso de escaneo | 81 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Primer prototipo..... | 48 |
| Figura 2. Análisis de tensión 1 | 48 |
| Figura 3. Imagen de prototipo | 49 |
| Figura 4. Imágenes del diseño prototipo final..... | 49 |
| Figura 5. Imagen del programa de impresión antes de impresión | 50 |
| Figura 6. Prototipo final | 50 |

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de fracturas en animales domésticos, especialmente en canes, representa un desafío tanto técnico como económico en la medicina veterinaria a nivel internacional y nacional. Diversos estudios y prácticas clínicas han evidenciado que la disponibilidad de dispositivos ortopédicos diseñados específicamente para la anatomía canina es limitada, lo que dificulta la correcta inmovilización y recuperación de fracturas, particularmente en huesos como el radio y cúbito. En muchos países, incluidos aquellos con sistemas veterinarios en desarrollo, esta limitación obliga a profesionales a recurrir a soluciones improvisadas o a dispositivos genéricos adaptados, lo cual puede afectar negativamente el proceso de curación y el bienestar del animal.

En Ecuador, esta problemática se manifiesta en la escasa oferta de dispositivos ortopédicos especializados y accesibles para clínicas veterinarias, lo que genera complicaciones clínicas y una mayor incidencia de secuelas permanentes en los canes tratados. La ausencia de dispositivos adecuados no solo impacta la calidad de atención, sino que también limita la práctica veterinaria, afectando el bienestar animal y la satisfacción de los profesionales. Ante esta situación, surge la necesidad de comprender a fondo las características y limitaciones de los dispositivos ortopédicos actualmente disponibles en el contexto local, así como el impacto que esta carencia tiene en la recuperación de fracturas caninas.

En este sentido, la investigación plantea como problema central: ¿Cuál es la situación actual de los dispositivos ortopédicos para el tratamiento de fracturas de radio y cúbito en canes en clínicas veterinarias de Ambato, y cómo se puede mejorar su diseño para optimizar su funcionalidad y adaptación anatómica? La pregunta científica que orienta este estudio busca identificar y analizar las necesidades clínicas insatisfechas respecto a estos dispositivos, sin anticipar soluciones específicas.

La hipótesis que guía esta investigación sostiene que mediante un proceso de análisis detallado y diseño centrado en el usuario, es posible desarrollar un dispositivo ortopédico adaptado a las características anatómicas de los canes que

mejore la funcionalidad y efectividad en el tratamiento de fracturas, respondiendo a las condiciones y limitaciones del entorno clínico local.

El objetivo general del estudio es diseñar un dispositivo ortopédico para el tratamiento de fracturas de radio y cúbito en canes, que sea funcional, accesible y anatómicamente adecuado para el contexto veterinario local. Para alcanzar este propósito, se plantean como objetivos específicos identificar las características de los dispositivos ortopédicos actualmente disponibles, establecer la geometría digital del producto mediante técnicas de escaneo 3D para optimizar su diseño, y proponer un dispositivo adaptado que cumpla con los requerimientos clínicos y estructurales necesarios para su uso en canes.

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA

1.1. Dispositivos ortopédicos en medicina veterinaria

En los últimos años, la ortopedia veterinaria ha experimentado un cambio significativo, impulsado tanto por los avances tecnológicos como por una mayor preocupación por el bienestar animal. Estos progresos han permitido comprender mejor las necesidades específicas de los canes veterinarios y desarrollar soluciones más eficaces y adaptadas a cada caso. Sin embargo, a pesar de los logros alcanzados, todavía existen desafíos importantes, especialmente en países como Ecuador. Entre los principales obstáculos se encuentran el acceso limitado a tecnologías especializadas y la escasa disponibilidad de dispositivos diseñados para ajustarse a las características anatómicas de distintas especies, lo que sigue siendo una dificultad para muchos profesionales del área (Rojas, 2023).

A lo largo del tiempo, la mayoría de los dispositivos ortopédicos empleados en animales han sido adaptaciones de modelos originalmente diseñados para uso humano. Estos se modificaron sobre la marcha para responder a las necesidades específicas de la medicina veterinaria, en lugar de ser creados desde un enfoque pensado exclusivamente para los animales. Esta práctica, si bien ha sido útil, presenta múltiples limitaciones, no siempre garantiza un ajuste adecuado ni un nivel óptimo de confort para los animales. Con la aparición de herramientas como la impresión en tres dimensiones y el escaneo corporal tridimensional, se ha abierto la posibilidad de diseñar ortesis y prótesis completamente personalizadas, ajustadas con precisión a la morfología de cada individuo (Pimbosa, 2021).

En estudios recientes, como el de Romero (2023), subrayan la jerarquía de identificar los contrastes morfológicos entre especies para obtener mejores resultados en los tratamientos, lo cual representa un paso fundamental hacia una ortopedia veterinaria más efectiva y centrada en el bienestar animal.

Los dispositivos ortopédicos veterinarios se clasifican según su función y ubicación anatómica.

Entre los principales tipos de dispositivos ortopédicos se encuentran las órtesis, que son estructuras externas destinadas a asistir, alinear o limitar un movimiento, el uso está indicado en patologías como displasias articulares, lesiones neuromusculares o recuperación postoperatoria en animales domésticos, especialmente caninos, las órtesis de carpo, tarso y rodilla son comunes para facilitar la movilidad en etapas de recuperación, estos dispositivos deben adaptarse anatómicamente y funcionalmente al canes para evitar úlceras por presión o interferencias con el movimiento normal (Dybczynska et al., 2022).

En contraste, las prótesis son dispositivos que sustituyen parcial o totalmente una estructura anatómica perdida, generalmente como consecuencia de trauma severo, enfermedad degenerativa o procedimientos quirúrgicos radicales, como amputaciones. Las prótesis de extremidades son cada vez más utilizadas en perros y gatos gracias al avance en el diseño asistido por computadora (CAD) e impresión 3D, que permiten una fabricación personalizada, reduciendo el riesgo de rechazo y mejorando la funcionalidad (Leonardi et al., 2021),

Siguiendo esta línea, los fijadores internos, como las placas, tornillos e intramedulares, se utilizan para estabilizar fracturas desde el interior del cuerpo, estos dispositivos deben ser compatibles con la estructura de huesos, presentar gran capacidad para soportar esfuerzos cíclicos sin fallar y permitir la osteointegración; el titanio y el acero inoxidable son los materiales más comúnmente empleados debido a su biocompatibilidad y resistencia a la corrosión, la elección del tipo de fijación interna depende del tipo de fractura, la localización ósea y la edad del animal (Varaganty y Seo, 2024).

Por otro lado, los fijadores externos son estructuras que se colocan fuera del cuerpo del animal y que están conectadas al hueso mediante clavos o pines, éstos son muy útiles en fracturas abiertas o contaminadas, permiten el manejo de heridas mientras se mantiene la estabilidad ósea, en esencia, los fijadores externos pueden ser unilaterales, bilaterales o circulares [como el fijador de Ilizarov], dependiendo de la necesidad biomecánica del caso, estos dispositivos permiten ajustes progresivos durante el proceso de consolidación ósea (Varaganty y Seo, 2024).

Una categoría adicional importante incluye los sistemas híbridos, que combinan elementos de fijación interna y externa, se utilizan especialmente en fracturas complejas o inestables donde una sola modalidad de fijación no proporciona suficiente estabilidad, la estructura y delineación debe considerar la biomecánica específica del animal para no interferir con los patrones normales de carga y descarga del peso corporal, si bien estos sistemas ofrecen gran versatilidad, su uso requiere entrenamiento especializado por parte del cirujano veterinario, también deben considerarse los dispositivos ortopédicos temporales, como vendajes rígidos, férulas y yesos, aunque no son tan avanzados tecnológicamente, siguen siendo útiles en clínicas con limitaciones económicas o como tratamiento complementario en fracturas leves o esguinces. Sin embargo, su uso prolongado puede derivar en atrofia muscular o lesiones cutáneas si no se monitoriza adecuadamente (Pimbosa, 2021).

Cabe destacar que el avance tecnológico ha impulsado el desarrollo de dispositivos personalizados mediante ingeniería inversa, lo cual permite generar modelos anatómicos digitales y fabricar implantes a medida, esta metodología es cada vez más usada en ortopedia veterinaria para casos complejos o poco comunes, por lo tanto, la personalización no solo mejora el ajuste anatómico del dispositivo, sino que también reduce el tiempo quirúrgico y acelera la recuperación. La clasificación funcional de los dispositivos también incluye aquellos destinados a la rehabilitación, como los carros ortopédicos y arneses de soporte, que permiten al animal recuperar la movilidad mientras continúa el proceso de rehabilitación fisioterapéutica; en casos de parálisis o daño neurológico irreversible, estos dispositivos mejoran considerablemente el bienestar animal y su interacción con el entorno (Cruz y Gaviria, 2019).

En este sentido, es evidente que las diferencias anatómicas y biomecánicas entre especies pueden resultar en una adaptación inadecuada, causando incomodidad o incluso complicaciones postoperatorias. Asimismo, la falta de dispositivos específicos para animales en el mercado limita las opciones disponibles para los veterinarios, especialmente en regiones con recursos limitados, esta situación obliga, en muchos casos, a modificar dispositivos diseñados para humanos o a

improvisar soluciones con materiales de uso general, lo que compromete la eficacia del tratamiento y aumenta el riesgo de fallos clínicos, como mala consolidación ósea, infecciones o disfunción articular (Rojas, 2023).

Conjuntamente, la diversidad morfológica entre razas y especies requiere un enfoque individualizado que no siempre es posible con dispositivos genéricos; por ejemplo, una órtesis diseñada para un perro de raza grande no será funcional ni segura para un felino o un conejo, debido a las diferencias en el peso, la biomecánica del movimiento y la sensibilidad cutánea, esta falta de adaptación puede generar puntos de presión, necrosis de tejidos blandos o interferencias en el patrón normal de locomoción, lo cual subraya la necesidad urgente de desarrollar tecnologías accesibles de personalización, como el modelado 3D y la manufactura aditiva (Rojas, 2023).

Del mismo modo, En países con menor infraestructura veterinaria especializada, los profesionales enfrentan barreras como la falta de acceso a tecnologías avanzadas para diagnóstico y planificación quirúrgica, limitaciones económicas que dificultan la adquisición de dispositivos modernos, y una formación insuficiente que restringe la aplicación de técnicas actualizadas en el campo clínico, para acceder a implantes avanzados o sistemas de diagnóstico que permitan una planificación quirúrgica de alta precisión, en estos contextos, la innovación debe orientarse hacia soluciones de bajo costo, adaptables y fáciles de implementar, sin sacrificar la seguridad ni la funcionalidad del dispositivo ortopédico; la colaboración entre ingenieros biomédicos, veterinarios y fabricantes puede ser clave para superar esta brecha tecnológica y mejorar los resultados clínicos en animales de todas las especies (Rojas, 2023).

Es fundamental reconocer que un dispositivo ortopédico bien ajustado a la anatomía del animal no solo mejora su funcionamiento, sino que también tiene un impacto directo en el bienestar del can veterinario, cada especie, e incluso cada raza, tiene características morfológicas propias que exigen soluciones hechas a medida. Por eso, diseñar dispositivos a medida no debería considerarse un lujo, sino una necesidad real dentro de la ortopedia veterinaria actual (Zambonino,

2019).

Tecnologías como la impresión 3D han permitido grandes avances en este campo, al hacer posible la fabricación de modelos únicos que se adaptan con precisión a la anatomía del animal. Este nivel de personalización no solo mejora los resultados del tratamiento, sino que también aumenta la comodidad del perro durante su recuperación. En este sentido, el uso de estas herramientas representa un paso importante en la mejora de la atención médica veterinaria, y al mismo tiempo promueve una práctica más ética y comprometida con el bienestar animal (Segnini et al., 2024).

En cambio, cuando el diseño parte de datos anatómicos digitalizados del propio can, se logra una integración mucho más adecuada con su cuerpo. Además, el uso de escáneres 3D y programas de diseño asistido por computadora (CAD) permite obtener una imagen detallada de la anatomía antes de la cirugía, lo que facilita una planificación quirúrgica más precisa y la creación de implantes hechos a la medida. Esta forma de trabajo no solo mejora los resultados, sino que también reduce la necesidad de importar productos y abre la puerta a soluciones locales más accesibles e innovadoras. En contextos con recursos limitados, esto marca una diferencia importante y refleja una evolución clara hacia una medicina veterinaria más personalizada, avanzada y enfocada en el bienestar real del animal (Segnini et al., 2024).

Así por ejemplo, la evaluación postquirúrgica de dispositivos ortopédicos en animales tiene como soporte indicadores médicos y hallazgos radiológicos que permiten determinar la correcta alineación, estabilidad y funcionalidad del implante; clínicamente, se observa la marcha del animal, la presencia de claudicación, dolor a la palpación y la capacidad de carga del miembro afectado y radiológicamente, se evalúa la posición del implante, la formación de callo óseo y la consolidación de la fractura (Gonzalez, 2020). Este mismo autor, realiza un estudio en un felino con fractura de fémur tratada con clavo de Steinmann y cerclaje con cintillos de poliamida, mostró que, a los 90 días postquirúrgicos, el animal presentaba una claudicación intermitente y ausencia de dolor a la manipulación, con una adecuada

cicatrización ósea observada radiológicamente, estos resultados indican una evolución favorable y la efectividad del tratamiento ortopédico implementado.

Igualmente, la goniometría se ha utilizado como herramienta para evaluar la recuperación funcional en canes postquirúrgicos. González-Moreno (2020) desarrolló un protocolo de seguimiento mediante goniometría en perros con ruptura de ligamento cruzado craneal, observando mejoras significativas en la amplitud de movimiento y la masa muscular del miembro afectado durante el periodo de rehabilitación, así, la recuperación funcional y la rehabilitación son componentes esenciales en el proceso postquirúrgico de canes ortopédicos veterinarios; un programa de rehabilitación adecuado no solo puede acelerar la recuperación, sino también mejorar significativamente la funcionalidad del miembro afectado y reducir el riesgo de complicaciones como la atrofia muscular o contracturas articulares, las técnicas de rehabilitación incluyen fisioterapia manual, hidroterapia, ejercicios de fortalecimiento, masoterapia, y terapia con láser, entre otras; cada una de estas técnicas debe adaptarse según la especie, tamaño del animal y el tipo de intervención quirúrgica realizada, en esencia, la implementación de un protocolo personalizado, supervisado por un equipo multidisciplinario, favorece una recuperación más rápida y con menos secuelas funcionales.

Es decir, el uso de férulas diseñadas específicamente para perros ha mostrado resultados positivos en cuanto a inmovilización y soporte durante el proceso de rehabilitación. Un estudio realizado por Zambonino-Rubio (2019) resalta la importancia de diseñar férulas basadas en estudios zoométricos en la ciudad de Quito, lo que ha permitido al personal veterinario realizar los procedimientos con mayor precisión y facilitar una recuperación más eficiente del miembro afectado, al ser fabricadas localmente con materiales accesibles, estas férulas no solo se ajustan mejor a la anatomía del animal, sino que también ayudan a reducir los costos del tratamiento, haciéndolo más accesible para los propietarios. Este tipo de soluciones resulta especialmente valioso en países latinoamericanos, donde muchas veces los recursos para medicina veterinaria especializada son limitados.

En ese sentido, Tapia (2021), desarrolló una órtesis económica para caninos con displasia de cadera en Quito, Ecuador, utilizando materiales alternativos de bajo costo y técnicas de impresión 3D, en este estudio, se observó que los animales que utilizaron el dispositivo experimentaron menos dolor durante el movimiento y mostraron una mejora significativa en su capacidad de deambulaci3n; incluso, se evidenci3 un aumento en la adherencia al tratamiento por parte de los propietarios, gracias a la accesibilidad del dispositivo y la facilidad de uso; el dise1o tambi3n contempl3 aspectos de ergonomía y peso, lo que permiti3 una mejor tolerancia por parte de los animales durante su uso prolongado.

De lo expuesto, estas investigaciones demuestran que la innovaci3n local, basada en el aprovechamiento de tecnologías como el escaneo 3D, la impresi3n aditiva y el uso de materiales nacionales, puede ofrecer soluciones viables y eficientes en el campo de la ortopedia veterinaria, tambi3n de reducir los costos, estos desarrollos permiten una personalizaci3n anatómica que mejora significativamente los resultados clínicos y la calidad de vida de los animales intervenidos. Este tipo de iniciativas tambi3n representan un valioso aporte al fortalecimiento del conocimiento científico regional y a la democratizaci3n del acceso a dispositivos ortopédicos veterinarios de calidad (Gaillard, 2024).

Así tambi3n, el uso de dispositivos ortopédicos no adaptados al canes puede resultar en múltiples complicaciones que afectan negativamente tanto la recuperaci3n como la calidad de vida del animal, estas complicaciones incluyen infecciones postoperatorias, procesos inflamatorios, rechazo del implante, mala alineaci3n ósea, p3rdida progresiva de funcionalidad del miembro afectado y, en los casos más severos, la necesidad de someter al canes a una segunda intervenci3n quirúrgica; estos problemas pueden derivarse de un dise1o genérico del dispositivo, una inadecuada adaptaci3n a la anatomía del animal o la elecci3n incorrecta de materiales; en consecuencia, se vuelve indispensable el dise1o personalizado y la evaluaci3n previa mediante modelos digitales, lo que permite anticipar posibles inconvenientes biomecánicos y estructurales (Gonzalez, 2020).

En esta línea, Toro et al. (2024), reportaron un estudio clínico sobre problemas postoperatorios en caninos tratados por ruptura del ligamento cruzado anterior y tratados mediante técnicas de estabilización extraarticular; de una muestra de 80 caninos intervenidos, 7 presentaron complicaciones: 5 moderadas y 2 leves. Estas complicaciones incluyeron inflamación persistente, dolor postoperatorio y disfunción parcial del miembro intervenido, el análisis estadístico reveló que factores como la edad avanzada, el peso corporal elevado y la inadecuada selección del tipo de implante contribuyeron significativamente a estos eventos adversos, los hallazgos recalcan la necesidad de considerar criterios morfométricos, funcionales y clínicos individuales antes de la elección e implementación de cualquier dispositivo ortopédico, especialmente en canes geriátricos u obesos.

En complemento con lo anterior, Çatalkaya et al. (2024) realizaron un análisis retrospectivo de casos clínicos en los que se presentaron complicaciones tras cirugías para tratar luxaciones de rótula en perros. Su estudio se centró en la relación entre la técnica quirúrgica utilizada y la elección del implante. Encontraron que una parte significativa de los problemas postoperatorios estuvo relacionada con un mal ajuste del implante, una colocación inadecuada del dispositivo y las limitaciones propias de los modelos estándar, que no siempre se adaptan bien a la anatomía del can. Entre las principales consecuencias clínicas se observaron recurrencias de la luxación, cojera persistente y dificultades en la recuperación funcional. A partir de estos hallazgos, los autores sugieren incorporar herramientas como la reconstrucción tridimensional y los análisis biomecánicos antes de la cirugía, permiten planificar mejor el procedimiento y reducir posibles errores durante la intervención.

Además, el diseño de un dispositivo ortopédico debe considerar tanto la biomecánica del hueso afectado como las particularidades de la especie y tamaño del animal. La morfología ósea, la densidad mineral, las cargas funcionales y los patrones de movimiento varían considerablemente entre especies, e incluso entre razas. Por ejemplo, las fracturas diafisarias de fémur en perros de razas grandes requieren dispositivos con una resistencia a la compresión y torsión

significativamente superior a la requerida en gatos o perros pequeños, cabe señalar que la edad y nivel de actividad del animal son factores clave, en animales jóvenes, los dispositivos deben permitir cierto grado de flexibilidad para no interferir con el crecimiento óseo; en contraste, en animales geriátricos se debe considerar la menor capacidad de remodelación y resistencia ósea, lo que exige mayor estabilidad en el implante (Wu et al., 2023).

Los implantes ortopédicos están sujetos a ciclos de carga repetitiva, lo cual genera fenómenos de fatiga que pueden derivar en fracturas del material si no se seleccionan los parámetros adecuados de diseño, la resistencia a la fatiga es especialmente crítica en dispositivos empleados en extremidades de animales activos o en aquellos que soportan grandes cargas, como perros de trabajo o razas grandes; el titanio y sus compuestos metálicos destacan por su sobresaliente tolerancia a esfuerzos cíclicos, mientras que los aceros inoxidable, aunque más rigurosos, pueden fallar si son mal diseñados o mal posicionados (Espín et al., 2023).

Otro aspecto clave es el módulo de elasticidad del material; un material con módulo muy alto puede generar estrés localizado en el hueso, provocando reabsorción ósea por falta de carga funcional, este fenómeno ha sido ampliamente documentado en humanos y extrapolado con éxito a la veterinaria; por ello, materiales con módulo más cercano al del hueso, como el titanio o ciertos compuestos poliméricos reforzados, son preferibles para evitar esta complicación. En términos de resistencia a la compresión y flexión, los dispositivos deben ser diseñados para soportar el peso corporal del animal y las fuerzas adicionales generadas durante la marcha (Thi Kim et al., 2023).

Los materiales utilizados en ortopedia veterinaria deben cumplir con criterios específicos de resistencia mecánica, biocompatibilidad, resistencia a la corrosión y adaptabilidad morfológica; entre los metales más empleados se encuentran el titanio y el acero inoxidable; el titanio, particularmente en su aleación Ti6Al4V, se ha posicionado como uno de los materiales más adecuados para aplicaciones ortopédicas debido a su alta resistencia específica, bajo módulo elástico (más

cercano al del hueso) y excelente biocompatibilidad; es decir el titanio reduce el fenómeno de “*stress shielding*”, o protección del hueso ante el estrés, que puede generar pérdida ósea (Gretha et al., 2019).

Por otro lado, el acero inoxidable, aunque más rígido y económico, es menos biocompatible en comparación con el titanio, es muy utilizado en países con menor acceso a materiales avanzados, especialmente en contextos veterinarios de bajo presupuesto, como ocurre en varias regiones de América Latina, a nivel de polímeros, los más utilizados en ortopedia veterinaria son el polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), el ácido poliláctico (PLA), el ácido poliglicólico (PGA) y el policaprolactona (PCL), estos materiales, aunque menos resistentes que los metales, presentan ventajas como la biodegradabilidad y la posibilidad de ser impresos en 3D para adaptarse anatómicamente al animal (Rengier et al. 2024).

En este contexto, los polímeros biocompatibles están adquiriendo protagonismo por su versatilidad. Por ejemplo, el PCL ha sido utilizado con éxito en la fabricación de andamios para la regeneración ósea en caninos, gracias a su lenta tasa de degradación y buena integridad estructural, no obstante, su aplicación debe ser cuidadosamente analizada según el tipo de fractura, su resistencia a la fatiga es inferior a la de los materiales metálicos (Thi Kim et al. 2023).

1.2. Fracturas de radio y cúbito en canes

Las fracturas de radio y cúbito representan una de las lesiones ortopédicas más frecuentes en caninos, especialmente en razas pequeñas y medianas. Estas estructuras óseas, localizadas en el antebrazo, cumplen una función biomecánica esencial al soportar la carga y permitir la movilidad de la extremidad torácica. La etiología de estas fracturas puede variar considerablemente, pero en la mayor parte de los casos guardan relación con traumatismos de alta energía, como atropellos vehiculares, caídas desde alturas o golpes contundentes durante actividades físicas intensas (Piermattei, 2019).

En razas *toy* o miniatura, las fracturas de radio y cúbito se presentan con mayor frecuencia debido a la fragilidad de sus huesos largos y la baja densidad mineral ósea, se ha indicado que razas como Yorkshire Terrier, Chihuahua o Caniche miniatura son especialmente susceptibles a fracturas diafisarias simples tras caídas aparentemente menores, se debe a la desproporción entre el tamaño del hueso y la fuerza del impacto, así como a condiciones predisponentes como la osteopenia. Además, en animales geriátricos, el paso del tiempo ocasiona un deterioro en las propiedades del hueso, lo cual incrementa la probabilidad de fracturas espontáneas o por microtraumatismos acumulados (Pimbosa, 2021).

La clasificación de las fracturas del radio y cúbito se puede abordar desde diferentes perspectivas, siendo la más común la basada en la morfología de la fractura. Según la clasificación AO/ASIF adaptada a la medicina veterinaria, estas lesiones se dividen en fracturas simples [transversales, oblicuas], fracturas conminutas [múltiples fragmentos] y fracturas segmentarias [diáfisis interrumpida en varios puntos]; a su vez, se clasifican en fracturas cerradas o expuestas, dependiendo de si existe o no comunicación del sitio de fractura expuesto al ambiente externo, situación que incrementa el riesgo de infección y complica el tratamiento (Pimbosa, 2021).

La causa de una fractura también puede clasificarse según su origen en traumática directa o indirecta. Las fracturas directas se producen cuando el golpe o impacto afecta directamente el lugar donde ocurre la ruptura, como sucede, por ejemplo, en mordidas entre perros o al recibir un golpe con un objeto contundente. Las fracturas indirectas, en cambio, se originan por fuerzas transmitidas a través del hueso, como en torsiones o compresiones axiales, y suelen asociarse con desplazamientos significativos del foco de fractura (Gaillard, 2024).

Comprender las causas y la clasificación de las fracturas de radio y cúbito en perros es clave para definir estrategias más acertadas tanto en el diagnóstico como en el tratamiento quirúrgico y la rehabilitación. La incorporación de tecnologías diagnósticas avanzadas, junto con una evaluación detallada de la forma y función de los canes, resulta crucial para lograr una recuperación clínica exitosa. Además,

factores como la raza, la edad o la calidad ósea del animal deben ser considerados al momento de tomar decisiones terapéuticas más personalizadas (Zambonino, 2019).

Entre las herramientas diagnósticas más comunes, la radiografía ortogonal — específicamente en proyecciones laterolaterales y cráneo-caudales— juega un papel fundamental. Esta técnica permite identificar el lugar exacto de la fractura (ya sea en la diáfisis, metáfisis o epífisis), su forma (como simple, oblicua, espiral, conminuta o segmentaria) y el grado de desplazamiento. Gracias a la estandarización promovida por la Sociedad AO para la Osteosíntesis Animal, el uso correcto de las radiografías mejora considerablemente la precisión en la clasificación de las fracturas y en la elección del método de fijación más adecuado (Gaillard, 2024).

En fracturas más complejas, o cuando se requiere una planificación quirúrgica minuciosa, el uso de tomografía computarizada (TC) se vuelve especialmente valioso. Esta técnica permite obtener imágenes tridimensionales de alta resolución que ofrecen una visualización mucho más detallada de los fragmentos óseos y de su relación con otras estructuras anatómicas cercanas (Thrall, 2017). En razas pequeñas o en fracturas ubicadas en zonas distales, donde la anatomía del radio y cúbito es más complicada, la tomografía representa una herramienta diagnóstica con claras ventajas frente a la radiografía convencional (Zambonino, 2019).

Otra herramienta emergente en la evaluación prequirúrgica es el escaneo 3D, que gana popularidad en ortopedia veterinaria gracias a su aplicación en el diseño personalizado de implantes o férulas mediante impresión 3D, de igual manera las técnicas de imagen, la evaluación prequirúrgica debe considerar el estado fisiológico del can, especialmente en animales politraumatizados. Se recomienda realizar un perfil bioquímico completo, hemograma, pruebas de coagulación y evaluación cardiopulmonar para descartar enfermedades sistémicas que puedan interferir con el procedimiento quirúrgico o la anestesia, en animales geriátricos o con patologías preexistentes como cardiopatías o insuficiencia renal, se debe consultar con un especialista en anestesiología veterinaria (Memarian et al., 2022).

Otro tema importante que analizar es la rehabilitación inicia desde el momento en que el can se encuentra estable hemodinámicamente y se recupera de la anestesia. De acuerdo con Espín et al. (2023) el reposo controlado es indispensable en las primeras semanas postoperatorias para asegurar una correcta consolidación ósea. Sin embargo, este reposo no implica inmovilización total; se recomienda permitir actividad moderada bajo supervisión para evitar rigideces articulares y pérdida de masa muscular. Entre las técnicas más utilizadas en la fisioterapia veterinaria se encuentran la crioterapia, masajes terapéuticos, movilización pasiva de las articulaciones, y conforme avanza la recuperación, se incluyen ejercicios de fortalecimiento muscular, hidroterapia, electroestimulación neuromuscular, y terapia con láser de baja intensidad; la hidroterapia ha mostrado ser particularmente efectiva en canes ortopédicos, al permitir el ejercicio con menor carga sobre el miembro afectado.

Respecto a las complicaciones postoperatorias, estas pueden ser inmediatas, tempranas o tardías, y están afectadas por varios elementos como la técnica quirúrgica, el tipo de implante utilizado, la condición fisiológica del canes, y la adherencia al protocolo de rehabilitación, existen complicaciones más frecuentes tras intervenciones ortopédicas en canes fueron la infección de la herida quirúrgica, el aflojamiento de implantes, el retardo en la consolidación ósea y la aparición de cojeras persistentes, se identificaron que la selección inadecuada del implante y una técnica quirúrgica deficiente aumentan el riesgo de luxaciones o mal uniones, especialmente en animales con antecedentes de enfermedad articular previa o en razas predispuestas a displasia. Otros factores como la edad avanzada, el sobrepeso y enfermedades metabólicas pueden complicar la rehabilitación y prolongar el tiempo de recuperación funcional (Çatalkaya et al., 2024).

De lo señalado, se puede identificar que la rehabilitación postquirúrgica debe ser considerada una parte integral del tratamiento ortopédico en canes. El uso adecuado de fisioterapia, combinada con dispositivos de inmovilización bien diseñados, puede acelerar la recuperación y mejorar la calidad de vida de los canes.

No obstante, una vigilancia continua y una adecuada evaluación de riesgos son imprescindibles para evitar o mitigar complicaciones, siendo la educación del propietario sobre la importancia del seguimiento clínico un factor determinante en el éxito del proceso de recuperación (Quezada, 2022).

En la ortopedia veterinaria actual, uno de los aspectos más importantes es la capacidad de adaptar el tratamiento a las características individuales de cada can. Por eso, ha ganado terreno un enfoque más personalizado, que no solo toma en cuenta la especie del animal, sino también el tipo de fractura y su estado clínico particular. Este nivel de precisión es posible gracias al uso de herramientas tecnológicas como la ingeniería inversa, el escaneo 3D y la impresión tridimensional, que permiten crear dispositivos mucho más ajustados a la anatomía del can. Con estos avances, se han podido superar muchas de las limitaciones de los dispositivos prefabricados, que solían presentar problemas como desplazamientos, mala integración ósea o reacciones adversas por el material utilizado (González, 2020).

Actualmente, uno de los temas que aún requiere mucha atención en ortopedia veterinaria es la evaluación de posibles complicaciones y la correcta validación de los dispositivos que se utilizan. Cuando un implante no se ajusta bien o se coloca de forma incorrecta, pueden presentarse problemas que afectan tanto la efectividad del tratamiento como la salud del animal. Esto pone en evidencia la necesidad de mejorar los criterios de diseño, la selección de materiales y los protocolos quirúrgicos. Además, resulta fundamental contar con metodologías estandarizadas que permitan validar rigurosamente las nuevas tecnologías antes de que se usen de manera general en la práctica clínica. Contar con procedimientos más estandarizados no solo ayudaría a generar mayor confianza y seguridad en el uso de estos dispositivos, sino que también permitiría integrarlos con mayor facilidad en la práctica diaria de los veterinarios (Gaillard, 2024).

1.3. La ingeniería inversa en el diseño biomédico y veterinario

La ingeniería inversa se ha vuelto una herramienta clave para analizar y rediseñar productos, permite capturar información precisa de estructuras ya existentes mediante el uso de escáneres 3D. Esta técnica resulta especialmente útil cuando se quiere mejorar o adaptar un dispositivo tomando como base un modelo previo. En el ámbito biomédico, su aplicación ha cobrado cada vez más relevancia, facilita la reproducción fiel de estructuras anatómicas complejas, tanto en seres humanos como en animales. Gracias a estas tecnologías, es posible generar modelos digitales exactos de órganos, tejidos o extremidades, lo que ayuda en su análisis y en la planificación de intervenciones médicas o quirúrgicas. Esta metodología representa un avance importante porque permite desarrollar soluciones médicas ajustadas a la anatomía de cada can. Así, la ingeniería inversa no solo impulsa la innovación, sino que también mejora la eficacia de los tratamientos personalizados, tanto en medicina humana como veterinaria (Wakjira et al., 2024).

El desarrollo de dispositivos mediante ingeniería inversa, tanto en medicina como en veterinaria, suele seguir tres etapas bien definidas. La primera es la digitalización, donde se recoge información detallada sobre la forma del objeto físico usando herramientas como escáneres 3D o tomografías computarizadas. Esto permite obtener una imagen precisa de las estructuras anatómicas de los canes. Con esos datos en mano, se pasa a la etapa de diseño asistido por computadora (CAD), en la que se crea un modelo digital que puede ajustarse según las necesidades clínicas específicas. Finalmente, este modelo sirve para fabricar el dispositivo físico, generalmente mediante técnicas de prototipado rápido como la impresión 3D. Gracias a este proceso, es posible crear dispositivos que se ajustan con gran precisión a la anatomía de los canes, algo que resulta complicado lograr con métodos tradicionales (Culqui et al., 2023).

En América Latina, a pesar de contar con menos infraestructura tecnológica que en países desarrollados, se han registrado avances notables, un caso representativo es el de Espín et al. (2023) donde se ha implementado la ingeniería inversa para el diseño de órtesis personalizadas en caninos con problemas locomotores, de

acuerdo a estos autores, estos dispositivos mejoraron significativamente los tiempos de rehabilitación y la movilidad articular, gracias a su ajuste anatómico y ligereza, los resultados reflejan la viabilidad de aplicar tecnologías digitales incluso en contextos con restricciones económicas, promoviendo así soluciones terapéuticas más accesibles sin comprometer la calidad del tratamiento.

En Ecuador, aunque la literatura científica es aún limitada en comparación con otros países, se han desarrollado iniciativas pioneras en este campo. Un ejemplo es el proyecto de Segnini et al. (2024) el cual presenta una revisión sistemática centrada en órtesis caninas elaboradas mediante impresión 3D, utilizando el método de Torres-Carrión (2022), en la que se identificó que la mayoría de estudios emplean escáneres 3D para digitalizar el miembro afectado y software especializado para diseñar el dispositivo, que luego es fabricado con impresión 3D, los resultados revelan una escasa investigación en este campo, lo que representa una oportunidad para futuras exploraciones.

Por otro lado, en el ámbito humano, la ingeniería inversa ha demostrado ser un recurso fundamental en el diseño de implantes complejos y personalizados. Por ejemplo, Ti Kim et al. (2023), reportaron el uso exitoso de esta técnica en la creación de implantes craneales específicos para cada canes, logrando una integración biomecánica y estética superior, en el ámbito deportivo, se han desarrollado prótesis de miembros inferiores diseñadas con base en las características anatómicas y dinámicas del usuario, lo cual mejora el rendimiento funcional y la comodidad; estos avances, aunque dirigidos a humanos, son perfectamente transferibles al campo veterinario, muchas de las consideraciones morfológicas y biomecánicas pueden extrapolarse a animales de compañía o de granja, especialmente aquellos que comparten similitudes anatómicas con los humanos.

La impresión 3D se ha vuelto una herramienta muy valiosa en la planificación quirúrgica veterinaria, contribuye a que los procedimientos sean más exactos y ayuda a disminuir el tiempo que los animales pasan en el quirófano, gracias a esta tecnología, es posible preparar y realizar intervenciones de manera más controlada y adaptada a cada caso. Además, los escáneres tridimensionales, ya sean de luz estructurada o láser, son fundamentales para capturar con precisión la forma

externa del animal, lo cual es especialmente útil cuando se diseñan órtesis que necesitan un ajuste muy exacto. Sin embargo, en el caso de las mascotas, el escaneo generalmente se realiza bajo sedación para evitar que se muevan durante la captura de datos, lo que implica tener en cuenta aspectos éticos importantes relacionados con el bienestar de los canes (Leonardi et al., 2021).

A pesar de los avances tecnológicos, el uso de ingeniería inversa en animales plantea dilemas éticos importantes. Uno de los principales desafíos es garantizar que los procedimientos de digitalización y adaptación de dispositivos no causen dolor o estrés innecesario a los animales. Según la *World Small Animal Veterinary Association*, cualquier procedimiento que implique manipulación física debe realizarse bajo protocolos de bienestar animal certificados, otra limitación es la que regulen el uso de dispositivos médicos personalizados en veterinaria; a diferencia del ámbito humano, donde organismos como la FDA o la EMA supervisan estrictamente estos procesos, en la medicina veterinaria muchos dispositivos se desarrollan sin un marco regulatorio robusto, que complica la seguridad del canes (World Small Animal Veterinary Association, 2024).

Desde el punto de vista técnico, la entre especies y razas representa un desafío para estandarizar procesos, es decir, no es lo mismo diseñar una prótesis para un galgo que para un *bulldog*, aun si la lesión es la misma, que obliga a trabajar con altos niveles de personalización, que incrementa gastos y el tiempo de producción, incluso, la durabilidad de los materiales impresos en 3D también es una preocupación; algunos polímeros como el PLA no resisten bien la humedad o el estrés mecánico prolongado, lo que los hace inadecuados para aplicaciones de soporte estructural a largo plazo, por lo que la adopción de materiales como el nylon reforzado o resinas biocompatibles ha mejorado este aspecto, pero su costo sigue siendo elevado (Romero, 2023).

CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. Enfoque de la investigación

Este estudio se relaciona con un enfoque cualitativo, busca comprender a fondo un fenómeno complejo desde la mirada de quienes lo experimentan directamente, este método permite indagar en las experiencias clínicas de los veterinarios y en las vivencias de los dueños de perros respecto al uso de dispositivos ortopédicos para tratar fracturas en el radio y el cúbito, por lo que se prioriza la recolección de información rica, contextualizada y subjetiva que permita identificar percepciones, necesidades, limitaciones funcionales, criterios técnicos y expectativas, con el propósito de diseñar una propuesta de dispositivo innovador, viable y adaptado a las condiciones del entorno local (Hernández, 2014).

El enfoque cualitativo se articula además con procesos técnicos derivados de la ingeniería inversa, que aportan objetividad en el análisis estructural y funcional de dispositivos ortopédicos existentes, complementando el conocimiento empírico con datos técnicos y geométricos digitalizados.

2.2. Diseño de investigación

El diseño adoptado es de tipo exploratorio-descriptivo con enfoque aplicado, sustentado además en el modelo de *Design Thinking*, inscrito para el desarrollo del dispositivo, misma metodología que está centrada en el usuario y que permite abordar problemas de forma creativa y estructurada a través de cinco fases: empatizar, definir, idear, prototipar y testear (Uribe, 2022).

Asimismo, la investigación tiene un carácter exploratorio, porque busca comprender en profundidad un campo poco documentado en el contexto local [dispositivos ortopédicos para canes en Ambato] (Hernández, 2014). Además, es descriptivo, porque se detallan las características técnicas, clínicas y funcionales de los dispositivos existentes y se documenta el proceso de desarrollo del nuevo prototipo, aplicado, porque el fin último es la propuesta de un dispositivo funcional y

contextualizado, más allá de la teoría (Hernández, 2014).

Adoptando así un método cualitativo-inductivo, fundamentado en la recopilación y análisis de experiencias, percepciones y observaciones directas, que permiten construir el conocimiento desde la realidad observada, en coherencia con el enfoque y diseño, se utilizarán métodos específicos como el estudio de caso múltiple, se analiza una muestra intencional de clínicas veterinarias que representan el contexto clínico local en Ambato, para proponer un dispositivo funcional y contextualizado, más allá de la teoría (Hernández, 2014).

Es así como el proceso incluirá el escaneo 3D de modelos, simulaciones digitales, pruebas clínicas básicas y validación conceptual. También es importante mencionar que el alcance no incluye la producción industrial ni la aplicación masiva del dispositivo. Tampoco se realizarán intervenciones clínicas invasivas durante el proceso.

2.3. Grupo de estudio

La población está conformada por dos grupos claves: los veterinarios que prestan servicios de atención ortopédica a canes en clínicas de la ciudad de Ambato, específicamente en casos de fractura de radio y cúbito, y los propietarios cuyas mascotas han sufrido de este padecimiento en algún momento, recurriendo a este tipo de servicios ortopédicos.

Cabe señalar que, según el portal Nexdu, en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, Ecuador, existen aproximadamente 55 clínicas veterinarias registradas, de estas, al menos 7 están clasificadas específicamente como clínicas y hospitales veterinarios (Nexdu, 2025).

Por lo tanto, la muestra es de carácter intencional y no probabilística, seleccionada bajo criterios de experiencia, disponibilidad y relevancia para el objeto de estudio, así:

Clínicas veterinarias: Se seleccionan siete clínicas veterinarias de la ciudad de Ambato, donde se ha constatado el tratamiento de casos de fracturas de radio y cúbito en canes.

Veterinarios: Se realizan intervenciones con un profesional por cada clínica (siete), priorizando a los que tengan experiencia directa en ortopedia canina.

Canes: Se incluirán siete perros que hayan requerido dispositivos ortopédicos por fracturas similares, a los cuales se les realizará observación directa. Lógicamente el apoyo de los propietarios es imprescindible pues exhortarán sus experiencias durante el tratamiento, lo que garantizará diversidad de prácticas según el tamaño del perro, duración del tratamiento, percepción del costo y resultados.

2.4. Recolección de la información

El estudio se desarrolla en la ciudad de Ambato, Ecuador, donde se han identificado siete clínicas veterinarias que manejan casos de fractura de radio y cúbito en perros de raza pequeña, y que participarán activamente en las fases de recolección de información, validación y prueba del prototipo, centrandose el análisis, rediseño y prototipado de un dispositivo ortopédico específico para el tratamiento de fracturas de radio y cúbito. Las observaciones se limitarán a entornos controlados y serán aprobadas por los profesionales veterinarios.

Tabla 1. Resumen técnicas de investigación

| Técnica | Instrumento | Descripción | Objetivo |
|--|--|--|---|
| Entrevistas semiestructuradas | Guía de entrevista | Aplicada a veterinarios y dueños de mascotas | Profundizar en las experiencias clínicas y percepciones del tratamiento |
| Encuestas abiertas | Cuestionario cualitativo | A dueños de canes que hayan pasado por tratamientos ortopédicos | Obtener experiencias del usuario final |
| Observación directa no participante | Ficha de observación | Aplicada en clínicas veterinarias durante intervenciones o revisiones | Documentar procedimientos, materiales, tiempos y reacciones |
| Análisis técnico (ingeniería inversa) | Ficha técnica + escaneo 3D | Desensamblaje y análisis digital de dispositivos ortopédicos existentes | Obtener geometría funcional y aspectos técnicos |
| Prototipado y validación | Modelo CAD, prototipo impreso, ficha de validación | Diseño digital y físico del dispositivo, presentado a veterinarios para evaluación | Obtener retroalimentación clínica y técnica |

Fuente: elaboración propia

Como se indica en la tabla 1, se utilizan las siguientes herramientas:

- Entrevistas semiestructuradas, para explorar en profundidad la experiencia de veterinarios y propietarios de mascotas.
- Observación directa no participante, en escenarios clínicos reales.
- Análisis técnico mediante ingeniería inversa, orientado a la comprensión y rediseño de un dispositivo a partir de sus características existentes.

La investigación se desarrollará respetando los principios de ética en investigación, incluyendo:

- Consentimiento informado firmado por todos los participantes.
- Anonimato de los datos recolectados.
- Confidencialidad y uso académico de la información.
- No intervención invasiva en animales, limitándose la observación directa a prácticas clínicas autorizadas.

Tabla 2. Sistematización de preguntas

| Pregunta | Indicadores | Frecuencia | % |
|---|--------------------------------------|-------------------|----------|
| ¿Qué tipo de dispositivos utiliza comúnmente para tratar fracturas de radio y cúbito en canes? | Férulas estándar o comerciales | 6 | 85.7% |
| | Placas internas / tornillos / clavos | 5 | 71.4% |
| | Férulas artesanales | 3 | 42.8% |
| ¿Qué limitaciones ha identificado en los dispositivos ortopédicos actuales? | Yeso moldeado | 1 | 14.2% |
| | Problemas de tamaño y ajuste | 6 | 85.7% |
| | Bajo confort para el animal | 5 | 71.4% |
| | Costo elevado | 4 | 57.1% |
| ¿Qué aspectos considera más importantes en el diseño de un dispositivo ortopédico? | Pesadez del dispositivo | 2 | 28.5% |
| | Estética deficiente | 1 | 14.2% |
| | Confort del animal | 7 | 100% |
| | Buen ajuste anatómico | 6 | 85.7% |
| | Resistencia y firmeza | 5 | 71.4% |
| ¿Qué materiales prefiere para fabricar o modificar dispositivos ortopédicos? | Bajo costo | 5 | 71.4% |
| | Ligereza | 4 | 57.1% |
| | Plástico liviano / termoformado | 4 | 57.1% |
| | Nylon reforzado | 1 | 14.2% |
| | PLA acolchado | 1 | 14.2% |
| ¿Qué tecnologías considera útiles para mejorar los dispositivos ortopédicos? | Acrílico médico | 1 | 14.2% |
| | Tubos de PVC (artesanales) | 3 | 42.8% |
| | Impresión 3D | 7 | 100% |
| | Escaneo anatómico | 6 | 85.7% |
| ¿Qué valor le asigna al uso de dispositivos personalizados? | Ingeniería inversa | 7 | 100% |
| | Facilita recuperación y confort | 6 | 85.7% |
| | Evita lesiones secundarias o rechazo | 5 | 71.4% |
| | Permite rehabilitación temprana | 2 | 28.5% |

Fuente: elaboración propia

La tabla 2 presentada resume la frecuencia de las respuestas obtenidas durante la investigación, reflejando los conocimientos y vivencias de los profesionales entrevistados en relación con el uso de dispositivos ortopédicos para fracturas de radio y cúbito en canes. Se han identificado las preguntas más relevantes del estudio, y para cada una de ellas se detallan los indicadores clave observados. Es importante señalar que, debido a la naturaleza cualitativa de las entrevistas, los veterinarios proporcionaron múltiples respuestas por pregunta. Esto se evidencia

en la variedad de indicadores y en los porcentajes registrados, los cuales superan el 100% en algunos casos, un mismo profesional puede haber mencionado más de una opción. Esta sistematización permite comprender con mayor precisión las tendencias, necesidades y limitaciones percibidas en el campo clínico, facilitando así el diseño de soluciones más adecuadas y personalizadas mediante el uso de ingeniería inversa y tecnologías emergentes como la impresión 3D.

A continuación, se presenta un cuadro resumen con los datos generales de los profesionales veterinarios entrevistados para esta investigación. Todos ellos cuentan con formación en licenciatura en medicina veterinaria y una especialización en traumatología veterinaria, además de una sólida experiencia práctica en el tratamiento de fracturas y ortopedia en canes. Esta información permite contextualizar el nivel de experticia de cada entrevistado y sustenta la validez de sus aportes en el estudio.

Entrevistas

Tabla 3. Datos generales de los entrevistados

| Entrevistado N° | Nombre | Datos generales |
|-----------------|---------------------|--|
| 1 | Dr. Ángel Soria | - Experiencia laboral durante 4 años con todo tipo de fracturas y canes. - Estudios de licenciatura veterinaria y especialización en traumatología veterinaria |
| 2 | Dra. Mercy Salinas | - 8 años en ortopedia, experiencia con razas medianas y pequeñas. - Estudios de licenciatura veterinaria y especialización en traumatología veterinaria |
| 3 | Dr. Ricardo Mejía | - Trabaja con fracturas desde hace 10 años - Estudios de licenciatura veterinaria y especialización en traumatología veterinaria. |
| 4 | Dr. Carla Molina | - Experiencia en veterinaria ortopédica por 6 años - Estudios de licenciatura veterinaria y especialización en traumatología veterinaria. |
| 5 | Dr. Eduardo Lara | - Experiencia laboral durante 7 años especializándose en fracturas delanteras y posteriores. - Estudios de licenciatura veterinaria y especialización en traumatología veterinaria. |
| 6 | Dra. Natalia Torres | - Experiencia durante 2 año en donde se han tratado fracturas craneales y posteriores - Estudios de licenciatura veterinaria y especialización en traumatología veterinaria. |
| 7 | Dr. Sergio Vargas | - Experiencia laboral durante 12 años en ortopedia - Estudios de licenciatura veterinaria y especialización en traumatología veterinaria. |

Fuente: elaboración propia

Resultados de las entrevistas

A continuación, se presenta un ejemplo de la recolección de la información realizada a los veterinarios a través de entrevistas estructuradas, la totalidad de las éstas se encuentran en el anexo 1.




Tabla 4. Entrevista Dr. Ángel Soria


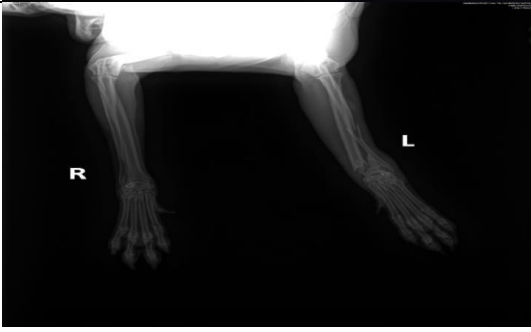


| Dr. Ángel Soria | |
|--|--|
| Pregunta | Respuesta |
| 1. Resumen experiencia en fracturas | Experiencia ocasional, más en razas pequeñas |
| 2. Frecuencia de fracturas de radio y cúbito | 1 vez al mes |
| 3. Dispositivos utilizados y efectividad | Placas internas y férulas externas |
| 4. Limitaciones técnicas | Tamaño y comodidad en razas pequeñas |
| 5. Situaciones clave de impacto en recuperación | Cuando fija bien el miembro |
| 6. Problemas de ajuste y soluciones | Se recorta y ajusta artesanalmente |
| 7. Relevancia del confort animal | Fundamental para recuperación |
| 8. Factores clave al elegir dispositivo | Comodidad, resistencia, costo |
| 9. Influencia del costo | Alta, se busca lo más económico |
| 10. Materiales recomendados | Plástico resistente |
| 11. Opinión sobre impresión 3D y escaneo | Es el futuro |
| 12. Experiencia con dispositivos locales/artesanales | Tubos PVC artesanales |
| 13. Elementos imprescindibles en diseño | Resistencia, firmeza, bajo costo |
| 14. Evaluación de adaptación del animal | Buena en razas grandes, mala en pequeñas |
| 15. Ingeniería inversa y mejora | Muy útil para personalización |
| Análisis: El Dr. Ángel Soria señala que las fracturas de radio y cúbito en razas pequeñas son comunes y se atienden con placas internas o férulas externas, aunque estas presentan limitaciones en tamaño y ajuste. Destaca que el confort del animal es fundamental para la recuperación y que el costo influye fuertemente en la elección del dispositivo, por lo que se recurre a soluciones artesanales como tubos de PVC. Considera clave la resistencia, firmeza y bajo costo en el diseño, y valora positivamente el uso de tecnologías como la impresión 3D y la ingeniería inversa para mejorar la personalización y eficacia, especialmente en razas pequeñas donde los dispositivos actuales resultan menos adecuados. | |

Fuente: elaboración propia

Ficha de observación

Tabla 5. Evaluación funcional de dispositivos ortopédicos en caninos

| Ficha 1: Ficha de Evaluación funcional de dispositivos ortopédicos en caninos Objetivo: Observar la reacción conductual, la movilidad funcional y los signos de dolor en caninos con fracturas de radio y cúbito tratados con dispositivos ortopédicos personalizados o artesanales Responsable: Isaac Emilio Betancourt López Fecha: Junio | | |
|--|--|---|
| Lugar / Descripción | Imagen | Observaciones |
| Ambato / Rocky (pequinés, 4 años): Intentó quitarse el dispositivo; movilidad limitada, postura correcta; dolor evidente. Dispositivo grande e inestable. El tipo de férula utilizada fue la Buster Leg Splint |  | Indicador 1: Se intentaba quitar el dispositivo con la pata Indicador 2: Movilidad limitada, aunque mantenía postura correcta Indicador 3: Alta incomodidad, se evidenció mal ajuste por exceso de tamaño |
| Ambato / Mía (schnauzer mini, 5 años): Ladridos constantes; cojea, postura algo curvada; dolor moderado. Peso del dispositivo afectó adaptación. La férula utilizada fue PVC, se acomodó manualmente con cortes y calor de manera artesanal. |  | Indicador 1: Ladridos persistentes al portar el dispositivo Indicador 2: Cojera leve, con leve curvatura en la postura Indicador 3: Dolor moderado asociado al peso del dispositivo |
| Ambato / Thor (chihuahua, 3 años): Reacción agresiva al dispositivo; sin movilidad, apoyo en tres patas; dolor alto. Camina máximo tres pasos. La férula utilizada fue PVC, se acomodó manualmente con cortes y calor de manera artesanal. |  | Indicador 1: Intento de morder el dispositivo al ser colocado Indicador 2: Sin movilidad, se apoyaba en tres patas Indicador 3: Dolor alto, no caminaba más de tres pasos |

| | | |
|--|--|---|
| <p>Ambato / Kira (poodle toy, 6 años): Nerviosa y evasiva al contacto; baja movilidad, postura forzada; dolor intenso. Ansiedad nocturna. El tipo de férula utilizada fue la Buster Leg Splint</p> |  | <p>Indicador 1: Nerviosa, evitaba contacto físico Indicador 2: Movilidad reducida, postura forzada Indicador 3: Alta expresión de dolor, insomnio y ansiedad durante la noche</p> |
| <p>Ambato / Simba (shih Tzu, 8 años): Buena adaptación; movilidad media, postura adecuada; leve dolor. Vendaje adicional mejoró comodidad. La férula utilizada fue PVC, se acomodó manualmente con cortes y calor de manera artesanal.</p> |  | <p>Indicador 1: Buena adaptación inicial al dispositivo Indicador 2: Movilidad media, postura estable Indicador 3: Dolor leve, disminuyó con vendaje adicional</p> |
| <p>Ambato / Nala (maltés, 2 años): Temor y evasión; movilidad limitada, postura tensa; alto dolor. Problemas al comer y dormir. El tipo de férula utilizada fue la Buster Leg Splint</p> |  | <p>Indicador 1: Reacción de miedo, el can se escondía Indicador 2: Movilidad limitada, postura corporal tensa Indicador 3: Dolor alto, con afectación al comer y dormir</p> |
| <p>Ambato / Coco (pinscher, 7 años): Se retiró el dispositivo con los dientes; baja movilidad, mala postura; constantes quejas. Dispositivo se pierde con facilidad. La férula utilizada fue PVC, se acomodó manualmente con cortes y calor de manera artesanal.</p> |  | <p>Indicador 1: Se retiró el dispositivo con los dientes Indicador 2: Movilidad baja, mala alineación postural Indicador 3: Ladridos y quejas constantes, pérdida frecuente del dispositivo</p> |

| | | |
|---|---|---|
| <p>Ambato / Lucy (yorkshire, 3 años): Tolerancia intermedia; movilidad normal tras descanso, postura regular; incomodidad leve. Dolor tras caminatas largas. El tipo de férula utilizada fue la Buster Leg Splint</p> |  | <p>Indicador 1: Tolerancia intermedia al uso Indicador 2: Movilidad normal tras reposo, postura regular Indicador 3: Dolor leve, con molestias tras caminar por tiempos prolongados</p> |
| <p>Ambato / Max (boston terrier, 4 años): Tristeza inicial, luego adaptación; buena movilidad progresiva, postura recta; dolor leve. Vendajes adicionales ayudaron. La férula utilizada fue PVC, se acomodó manualmente con cortes y calor de manera artesanal.</p> |  | <p>Indicador 1: Tristeza al inicio, luego tolerancia progresiva Indicador 2: Movilidad en mejora gradual, postura recta Indicador 3: Bajo dolor, manejo con vendajes extra</p> |
| <p>Ambato / Lilo (pomerania, 1 año): Baja actividad, prefería estar quieta; escasa movilidad, postura desviada; dolor moderado. Pasaba mucho tiempo sentada. El tipo de férula utilizada fue la Buster Leg Splint</p> |  | <p>Indicador 1: Menor actividad, preferencia por estar quieta Indicador 2: Escasa movilidad, postura desviada Indicador 3: Dolor moderado, permanecía sentada la mayor parte del tiempo</p> |

Fuente: elaboración propia

Procesamiento y análisis de los datos

Entrevistas

El análisis detallado de las entrevistas realizadas a los siete veterinarios evidencia una preocupación compartida en torno a la limitada disponibilidad de dispositivos ortopédicos adaptados al tamaño de los caninos de razas pequeñas. Aunque cada profesional tiene diferentes niveles de experiencia —desde dos hasta doce años— todos coinciden en que los dispositivos existentes [férulas estandarizadas] no ofrecen un ajuste adecuado, a pesar del uso de placas internas o clavos metálicos, lo cual interfiere directamente en la recuperación funcional del animal. En especial, se señala que las férulas comunes presentan dimensiones generales que están pensadas para razas medianas o grandes, por lo que su uso en razas pequeñas

genera complicaciones como incomodidad, mala postura, lentitud en la movilidad y necesidad de constantes ajustes improvisados por parte del veterinario.

Un descubrimiento significativo es que, aunque existen diversos dispositivos en uso, la mayoría está hecha con materiales como PVC artesanal o plásticos termoformados que no siempre satisfacen las necesidades específicas de cada caso. Por eso, se resalta la importancia de contar con un material que sea liviano, resistente y, al mismo tiempo, económico. En este sentido, los veterinarios entrevistados valoran mucho las tecnologías emergentes como el escaneo e impresión 3D, creen que estas herramientas pueden mejorar notablemente el diseño y la funcionalidad de los dispositivos ortopédicos, ofreciendo mayor comodidad al animal durante su recuperación. El mayor porcentaje coinciden que, si estas tecnologías se aplican localmente con materiales accesibles y adaptados a cada caso, podrían ser una solución efectiva y personalizada para tratar fracturas de radio y cúbito, sobre todo en razas pequeñas.

Por otra parte, el costo es un factor determinante a la hora de elegir el tratamiento. Muchos profesionales coinciden en que, con frecuencia, los propietarios optan por opciones más económicas, aun cuando esto pueda prolongar el tiempo de recuperación o afectar la efectividad del dispositivo. Esta situación no solo responde a una necesidad técnica, sino que también refleja una realidad social y económica, evidenciando la diferencia entre lo ideal y lo que los usuarios realmente pueden costear.

Además, los especialistas coinciden en que el confort del animal es crucial para que el tratamiento tenga éxito. Si el dispositivo resulta incómodo o no se ajusta bien, el perro suele rechazarlo o intentar retirarlo, lo que complica o incluso impide el proceso de rehabilitación. Por ello, es fundamental que el diseño logre un equilibrio entre funcionalidad, precio accesible y comodidad. En este sentido, recurrir a métodos innovadores como la ingeniería inversa puede ser una opción viable y prometedora para desarrollar soluciones más eficaces y acordes a las necesidades reales del entorno veterinario.

Fichas de observación

La información obtenida a partir de las fichas de observación permite entender cómo afectan realmente los dispositivos ortopédicos estándar a perros con fracturas de radio y cúbito. En general, todos los animales mostraron diversos niveles de molestia, movilidad restringida y dificultades para llevar a cabo actividades diarias como caminar, subir escaleras, alimentarse o descansar. Estas manifestaciones, presentes de forma recurrente en los registros, se vinculan directamente con un mal ajuste del dispositivo, especialmente en perros de razas pequeñas como chihuahuas, poodles toy, pequineses o schnauzers. Aunque los aparatos cumplen parcialmente su función de inmovilización, un diseño poco adecuado impide que los perros se recuperen de manera cómoda y ágil.

También se notó que la reacción inicial de los perros ante estos aparatos suele ser negativa. Muchos intentan quitárselos, ladran de manera constante o adoptan posturas incómodas, lo que muestra no solo la dificultad para acostumbrarse al dispositivo, sino también fallas en su diseño para adaptarse correctamente al cuerpo del animal. En varios casos se reportaron rozaduras, puntos de presión o problemas de estabilidad al caminar causados por el tamaño o la forma del dispositivo, lo que puede generar molestias constantes y afectar la recuperación.

Estas experiencias ponen en evidencia una limitación importante: los dispositivos estandarizados no se ajustan correctamente a las distintas características físicas de cada raza, especialmente en perros de talla pequeña, donde la precisión en el ajuste es fundamental. Frente a ello, los veterinarios destacan la necesidad de utilizar materiales que sean resistentes, pero también flexibles y ligeros, que se adapten al cuerpo sin interferir con la postura natural del animal ni causar lesiones por roce o presión prolongada. En más de un caso, se recurrió al uso de vendajes o acolchados adicionales para mejorar el confort, lo que refleja la falta de un diseño ergonómico adecuado desde el inicio.

En líneas generales, estas observaciones respaldan la idea de que la mejor alternativa es fabricar dispositivos personalizados. La aplicación de tecnologías

como el escaneo y la impresión 3D permitiría desarrollar diseños mucho más exactos y adaptados a cada caso particular. Esto no solo mejoraría la funcionalidad y el confort del dispositivo, sino que también facilitaría una recuperación más rápida para los animales, todo ello con un costo más accesible para sus propietarios.

Propuesta de la investigación

La elección metodológica de este estudio surge de la necesidad de abordar el desarrollo de dispositivos ortopédicos veterinarios desde una perspectiva más amplia y contextualizada. Tradicionalmente, estos productos se han concebido con un enfoque principalmente técnico o clínico, sin integrar de manera integral aspectos como la experiencia del usuario, los costos, las limitaciones propias del entorno local y las necesidades particulares de cada animal. Por ello, se optó por un enfoque combinado que integra *Design Thinking* e ingeniería inversa, lo que facilita la unión de la creatividad, la empatía y la precisión técnica a lo largo de todo el proceso de diseño (Uribe, 2022).

Este enfoque coloca al usuario en el centro, considerando tanto al veterinario como al propietario de la mascota como actores fundamentales del proceso creativo. De esta manera, se garantiza que el dispositivo no solo cumpla su función médica, sino que también sea funcional, accesible y acorde a la realidad del entorno. Además, esta metodología impulsa la generación de ideas innovadoras y flexibles, especialmente valiosas en medicina veterinaria, donde la variedad morfológica, sobre todo en razas pequeñas, es amplia. Recoger retroalimentación desde las etapas iniciales permite corregir errores a tiempo, reducir costos y mejorar la calidad del producto final (Gutiérrez et al., 2019).

Por otro lado, la ingeniería inversa contribuye a obtener un conocimiento técnico profundo de dispositivos ya existentes. A partir del análisis de su estructura y funcionamiento, se pueden crear modelos digitales muy precisos que luego se reproducen mediante tecnologías como la impresión 3D. Esta técnica es esencial para asegurar la viabilidad técnica y lograr un diseño perfectamente adaptado a las necesidades del canino (Uribe, 2022).

La creciente demanda de soluciones ortopédicas en veterinaria, especialmente para fracturas de radio y cúbito, ha dejado en claro la importancia de combinar una comprensión detallada del usuario con tecnologías de alta precisión. Por eso, este proyecto adopta un modelo híbrido que fusiona el enfoque centrado en el usuario propio del *Design Thinking* con las capacidades técnicas de la ingeniería inversa, generando así una propuesta integral e innovadora (Gutiérrez et al., 2019).

Ambas metodologías se complementan de forma sinérgica: mientras el *Design Thinking* orienta el proceso bajo una lógica de innovación enfocada en el usuario, la ingeniería inversa aporta el rigor técnico necesario para asegurar la funcionalidad, ergonomía y eficiencia del dispositivo ortopédico. Esta combinación metodológica no solo responde a la demanda de soluciones innovadoras en la medicina veterinaria local, sino que también posiciona la investigación en una línea interdisciplinaria que une ingeniería, salud animal y diseño, dando paso al desarrollo de las siguientes fases.

FASE 1 - Empatizar: Comprensión profunda del contexto clínico y usuario

Objetivo de la fase: Comprender de forma profunda la experiencia del usuario (veterinarios y canes) frente al uso de dispositivos ortopédicos existentes.

Implementación:

1. Análisis de entrevistas a veterinarios (n=7):

- Se construyeron categorías clave emergentes:
 - Inadecuación de dispositivos existentes: No se adaptan a razas pequeñas.
 - Problemas con materiales: PVC artesanal o plástico rígido genera incomodidad.
 - Costos elevados: Limitan el acceso a soluciones óptimas.
 - Aceptación de tecnologías emergentes: gran interés en impresión 3D y escaneo 3D.
 - Importancia del confort para la recuperación.

2. Análisis de fichas de observación a canes (n=10):

- Se identificaron patrones conductuales:
 - Dificultades en locomoción, descanso y alimentación.
 - Comportamientos de rechazo al dispositivo (mordidas, ladridos, cambios posturales).
 - Presencia de heridas por fricción y presión.
 - Uso improvisado de vendajes y acolchados adicionales.
 - Hallazgos se triangulan con entrevistas, confirmando necesidad de un mejor diseño.

3. Mapeo de *stakeholders*:

- Usuario directo: canes con fractura.
- Usuario técnico: veterinario que prescribe/aplica.
- Usuario económico: dueño del animal.
- Usuario de diseño: diseñador industrial.



4. Herramienta aplicada:

- Mapa de empatía doble (veterinario y can): Describe qué siente, piensa, ve, dice, hace y cuáles son sus frustraciones.
- Resumen gráfico del Journey del veterinario: Desde la consulta, diagnóstico, aplicación del dispositivo, seguimiento.

Usuario 1: Veterinario (Usuario técnico)

| | |
|------------------------------|--|
| ¿Qué piensa y siente? | Preocupación por la recuperación del animal, responsabilidad ética, necesidad de soluciones eficaces. |
| ¿Qué ve? | Diversos casos clínicos, limitaciones tecnológicas, avances como la impresión 3D. |
| ¿Qué dice y hace? | Explica procedimientos, aplica tratamientos, realiza seguimiento, actúa con empatía profesional. |
| ¿Qué oye? | Opiniones de colegas, necesidades del tutor, tendencias médicas. |
| Frustraciones | Limitación de recursos, dispositivos genéricos, tiempos prolongados de recuperación. |
| Necesidades | Dispositivos seguros, adaptables, fáciles de aplicar; formación técnica continua. |

Fuente: elaboración propia

Usuario 2: Can (Usuario directo - canes)

| | |
|----------------------|---|
| ¿Qué siente? | Dolor, incomodidad, miedo al entorno clínico; alivio al disminuir el malestar. |
| ¿Qué ve? | Ambientes desconocidos, personas e instrumentos nuevos, cambios de rutina. |
| ¿Qué hace? | Reacciona al dolor, resiste la manipulación, se adapta gradualmente al dispositivo. |
| ¿Qué oye? | Voces humanas, sonidos de la clínica, palabras reconfortantes. |
| Frustraciones | Movilidad reducida, incomodidad inicial, ansiedad por separación. |
| Necesidades | Confort, adaptación progresiva, interacción positiva, movilidad controlada. |

Fuente: elaboración propia

Como resultado de la fase 1 se puede determinar la consolidación de necesidades reales y problemáticas clave, extraídas del contexto clínico real, que evidencian las fallas de los dispositivos existentes y permiten plantear un rediseño desde la ingeniería inversa.

A continuación, en la tabla número 5 se presentan las medidas en centímetros correspondientes a las patas de los perros, categorizadas según diferentes tamaños, estos datos fueron establecidos en base a la información recopilada por los siete veterinarios que han participado activamente en el desarrollo del proyecto, la experiencia y conocimiento clínico han permitido definir rangos de dimensiones realistas y representativos, asegurando que las prótesis diseñadas respondan adecuadamente a las necesidades anatómicas de los distintos tipos de canes.

Tabla 6. Caracterización morfológica promedio en razas pequeñas tratadas

| Raza | Longitud antebrazo (cm) | Diámetro promedio (cm) | Peso promedio (kg) | Observaciones clínicas relevantes |
|-------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|---|
| poodle Toy | 7,6 | 2,4 | 3,2 | Tendencia a hipersensibilidad al contacto |
| schnauzer mini | 7,0 | 2,8 | 4,8 | Musculatura más densa; mayor tolerancia al ajuste |
| chihuahua | 6,3 | 2,1 | 2,2 | Fragilidad ósea; riesgo alto de edema |
| yorkshire terrier | 6,4 | 2,3 | 3,0 | Piel delgada, requiere acolchado adicional |
| pekinés | 6,7 | 2,9 | 5,0 | Requiere sistema ventilado por abundante pelaje |

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Hallazgos claves

| Dimensión | Evidencias |
|---------------------------------------|---|
| Usuario primario (canes) | Canes de razas pequeñas (Chihuahua, Poodle Toy, Schnauzer miniatura) con fracturas en extremidades anteriores. Presentan incomodidad con férulas genéricas, movilidad reducida, rechazo activo del dispositivo. |
| Usuario secundario (experto tratante) | Veterinarios con 8-12 años de experiencia. Demandas clave: dispositivos anatómicos, ligeros, económicos y personalizables. |
| Problema actual | Los dispositivos existentes (férulas PVC, clavos, placas metálicas) están estandarizados para razas medianas o grandes. Esto genera problemas de ajuste, incomodidad y menor eficacia terapéutica. |
| Necesidades explícitas | Mejora en ergonomía, reducción de peso, adaptación morfológica, bajo costo y uso de tecnologías como escaneo 3D e impresión 3D. |
| Emociones asociadas | Frustración del veterinario por soluciones ineficientes. Malestar evidente en los canes, rechazo del dispositivo, dificultad de adaptación. |

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Mapa de empatía

| ¿Qué ve? | ¿Qué dice? | ¿Qué hace? | ¿Qué siente? |
|--|---|---|---|
| Dispositivos inadecuados, canes incómodos, complicaciones en recuperación | “Necesitamos una solución en el tamaño y diseño”, “El costo limita la decisión del dueño” | Ajusta dispositivos improvisadamente, realiza vendajes alternativos | Frustración, preocupación por el bienestar del animal |

Fuente: elaboración propia

Esta información permite crear perfiles de referencia, esenciales para un mejor diseño del dispositivo. Se confirmó la necesidad de un sistema adaptable, ventilado, liviano y que minimice el contacto con zonas inflamadas o sensibles.

FASE 2 - Definir: Delimitación precisa del problema y oportunidades de diseño

En Ambato y Quito, la disponibilidad de dispositivos ortopédicos diseñados específicamente para caninos es limitada. Esta carencia, influenciada por factores económicos y logísticos, obliga a veterinarios y cuidadores a recurrir a soluciones improvisadas como férulas artesanales hechas con tubos de PVC o adaptaciones de férulas humanas.

El modelo más comúnmente utilizado es la férula plástica Buster de la marca KRUUSE, importada de China, la cual presenta limitaciones de diseño y adaptación, pues no responde a la diversidad anatómica y biomecánica de las distintas razas caninas ni a los variados tipos de lesiones.

Esta situación evidencia una oportunidad clara para desarrollar un dispositivo ortopédico personalizado, ergonómico, accesible y adaptable a las necesidades específicas de los canes, considerando recursos locales para mejorar la recuperación del animal, facilitar el trabajo veterinario y promover el bienestar animal de forma eficiente y económica.

El objetivo de esta fase es delimitar el problema técnico-clínico desde la empatía, integrando variables funcionales, económicas, anatómicas y tecnológicas para estructurar una innovación basada en ingeniería inversa.

Análisis FODA

| Fortalezas | Oportunidades |
|--|--|
| - Conocimiento clínico y experiencia local. - Uso de ingeniería inversa y diseño centrado en usuario. | - Demanda clara de dispositivos personalizados. - Avances tecnológicos como impresión 3D. |
| - Acceso a materiales locales y técnicas de manufactura económica. | - Potencial colaboración multidisciplinaria (veterinarios, diseñadores, ingenieros). |
| Debilidades | Amenazas |
| - Limitación en recursos económicos y tecnológicos. | - Competencia de productos importados masivos. |
| - Falta de dispositivos estándar adaptados a todas las razas. | - Resistencia al cambio en prácticas clínicas establecidas. |
| - Dependencia de soluciones improvisadas actuales. | - Regulaciones y normativas que pueden retrasar la implementación. |

A continuación, se presenta los requisitos formales y técnicos del dispositivo

Tabla 9. Identificación de requisitos formales y técnicos del dispositivo

| Categoría | Requisito |
|------------------|--|
| Funcionalidad | Inmovilizar radio y cúbito durante 8-10 semanas |
| Anatomía | Adaptarse a extremidades de razas pequeñas (circunferencia ≤ 10 cm) |
| Materialidad | Ser liviano, resistente, no abrasivo |
| Usabilidad | Fácil de colocar y retirar por el veterinario |
| Economía | Coste inferior al de una férula exportada |
| Compatibilidad | Permitirse impresión 3D |

Fuente: elaboración propia

De esta manera se aplican las herramientas *POV Statement (Point of View)*, pues un veterinario que trata perros pequeños necesita un dispositivo ortopédico personalizado, económico y cómodo porque normalmente causan dolor, no se adaptan bien y afectan la recuperación, lo que establece que la opinión y experiencia del profesional es prioritaria para el planteamiento de soluciones. Así también el instrumento, *¿How Might We...?* (¿Cómo podríamos...?) permite plantear las siguientes interrogantes:

¿Cómo podríamos crear un dispositivo que se ajuste exactamente a la morfología del can?

¿Cómo podríamos reducir los costos de fabricación sin sacrificar calidad?

¿Cómo podríamos incorporar tecnologías digitales para personalizar el diseño?

Tabla 10. Mapa problema-oportunidad

| Problema identificado | Oportunidad de innovación |
|--|--|
| Mala adaptación de férulas estándar a razas pequeñas | Desarrollar férulas específicamente para razas pequeñas mediante escaneo 3D |
| Incomodidad que genera rechazo por parte del can | Diseñar férulas con materiales ligeros, flexibles y con mejor distribución del peso |
| Alto costo de dispositivos personalizados importados | Implementar soluciones de fabricación local con impresión 3D y materiales accesibles |
| Veterinarios improvisan ajustes manuales | Crear un sistema modular adaptable al tamaño y morfología de cada can |

Fuente: elaboración propia

Entonces, es importante establecer el aporte de la Ingeniería Inversa en esta fase, pues el desmontaje y análisis técnico de férulas existentes admite identificar qué componentes son reutilizables, modificables o deben rediseñarse. Asimismo, la

digitalización 3D de modelos anatómicos de extremidades anteriores de canes pequeños permitirán determinar tolerancias, rangos de movimiento y puntos de presión. A esto se suma la evaluación de materiales usados actualmente vs. nuevos materiales que podrán reducir el peso y costo.

De la misma forma es importante considerar las restricciones clínicas y funcionales como:

- Presencia de edemas post fractura: no debe ejercer presión directa.
- Hipersensibilidad cutánea: requiere materiales suaves o acolchados.
- Pelaje abundante: exige buena ventilación.
- Tiempos de curación prolongados: debe resistir desgaste por 2 a 6 semanas.

Es así como se define claramente el problema de rediseño y las características funcionales mínimas necesarias que debe cumplir el nuevo dispositivo ortopédico, que permite guiar la ideación técnica basada en los principios de ingeniería inversa.

En la tabla número 10 se visualiza el dispositivo ortopédico que se seleccionó para la realización del escaneo 3D siendo porque este es el dispositivo industrial y verificado que se utiliza con regularidad dentro de Ambato y Quito, se determinó que el dispositivo tiene una gran cantidad de fallas y errores ante su colocación con los canes y un problema mucho mayor ante perros de raza pequeña se debe de cortar, reducir y ajustar con calor en la pata del perro generando roces, incomodidad y una recuperación más lenta siendo complicado de colocar y de retirar.

Tabla 11. Imágenes del dispositivo utilizado para el escaneo

Buster plastic leg splint



Fuente: elaboración propia

A continuación, se detalla el proceso de escaneo:

Características del equipo de escaneo

El escaneo tridimensional se realizó utilizando un escáner Shining 3D, modelo profesional de la empresa EinStar, reconocido por su alta precisión y facilidad de uso en aplicaciones médicas y de ingeniería. Este equipo cuenta con tecnología de luz estructurada que permite capturar con detalle objetos pequeños y complejos, con una resolución alta y capacidad para generar mallas optimizadas para su posterior procesamiento en software CAD.

Resumen del proceso de escaneo

El proceso inició con la conexión y calibración del escáner, seguido de la colocación de *stickers* como referencias visuales sobre el objeto a digitalizar. Se realizaron múltiples escaneos desde diferentes ángulos para asegurar la captura completa de detalles, los cuales fueron posteriormente unificados mediante un método manual de alineación por puntos. El modelo resultante fue optimizado, limitando la malla a un máximo de 5000 triángulos para facilitar su manipulación en programas de diseño y análisis. Se cuidó que el escaneo fuera preciso, evitando errores como duplicidades o pérdidas de referencia. Finalmente, se eliminaron elementos no deseados del entorno para obtener un modelo limpio y funcional.

En el anexo número 7 se incluye una representación visual detallada del proceso descrito.

Una vez finalizado todo el proceso de escaneo y optimización, se obtiene el modelo digital completo del dispositivo ortopédico. Este modelo ya ha pasado por todas las etapas de limpieza, unificación y configuración de malla, por lo que está listo para ser exportado. Finalmente, el archivo puede descargarse en el formato deseado para ser importado y trabajado en software de diseño como Autodesk Inventor u otras aplicaciones especializadas según los requerimientos del proyecto.

Fase 3 - Idear: Análisis técnico y conceptual

Objetivo de la fase: Generar ideas innovadoras para un dispositivo ortopédico aplicando los principios de la ingeniería inversa, combinados con los requerimientos clínicos y morfológicos identificados.

Implementación:

1. Técnica de *Brainstorming*
2. Generación de 5 bocetos
3. Evaluación técnica de bocetos

Las tablas 11 y 12 que se presentan a continuación, muestran aspectos clave del desarrollo del dispositivo ortopédico. La primera tabla expone las propuestas iniciales para el diseño, considerando criterios como la ligereza, comodidad, economía y reutilización del producto, con énfasis en el uso de materiales accesibles y técnicas de fabricación sostenibles. La segunda tabla destaca el valor agregado del enfoque combinado aplicado en el proyecto, que integra Design Thinking, ingeniería inversa y tecnologías como el escaneo e impresión 3D, orientando el proceso hacia el cumplimiento de los objetivos específicos de la investigación.

Tabla 12. Propuestas iniciales de estudio

| Criterio | Concepto de solución |
|-----------------|---|
| Ligereza | Uso de PLA o TPU flexible impreso en 3D con patrón de aligeramiento tipo panal |
| Comodidad | Espacio y tamaño necesario, canalización de calor |
| Económico | Diseño abierto para replicación comunitaria y uso de materiales locales o reciclables |
| Reutilizable | Resistencia del producto permitiendo un re-uso tras recuperación |

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Valor agregado del enfoque combinado

| Componente | Valor generado |
|----------------------|--|
| Design Thinking | Enfoque centrado en el usuario (veterinario + can) |
| Ingeniería Inversa | Optimización de diseño con base en evaluación técnica de dispositivos existentes |
| Tecnología aplicada | Escaneo 3D, CAD, impresión 3D con materiales accesibles |
| Alineación objetivos | a Se avanza hacia la propuesta del dispositivo (Objetivo específico 3) |

Fuente: elaboración propia

Generación de ideas con base técnica

Lluvia de ideas estructurada (6 ideas clave):

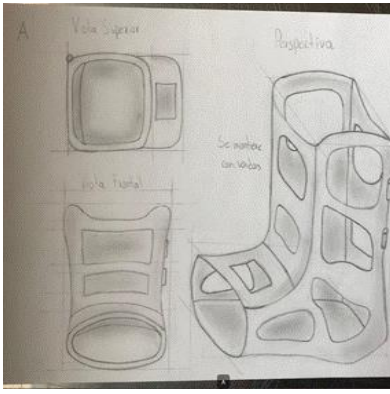
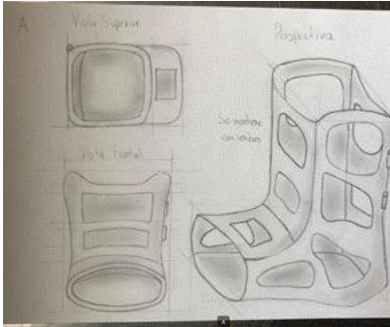
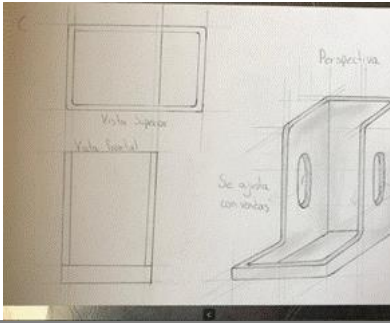
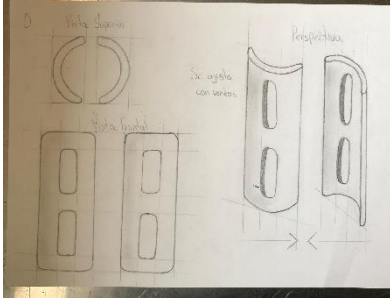
- A. Férula segmentada en dos piezas, unidas por vendas.
- B. Material base TPU
- C. Diseño para ajustarse mediante vendas
- D. Ajuste más ideal para razas pequeñas.
- E. Espacio interno para colocación de gasas, vendas y algodón.
- F. Diseño sin acolchonados internos por riesgos de infección

La tabla 13 presenta la evaluación técnica de diferentes bocetos para el dispositivo ortopédico, se utiliza aspectos clave como la comodidad, el costo, la viabilidad técnica y la capacidad de personalización. Cada propuesta fue calificada según estos criterios para determinar la opción más adecuada según su puntaje total.

La tabla 13, correspondiente a la evaluación técnica de bocetos (matriz de selección) permite comparar de manera objetiva varias propuestas de diseño del dispositivo ortopédico. Cada opción fue valorada según criterios fundamentales como la comodidad para el can, el costo de producción, la viabilidad técnica del diseño y el nivel de personalización que permite. A través de esta matriz se asignaron puntajes a cada criterio, con el fin de identificar la alternativa más adecuada y coherente con los objetivos funcionales, económicos y clínicos del proyecto. Esta herramienta facilitó la toma de decisiones durante la fase de ideación, permitiendo seleccionar el boceto con mayor potencial de desarrollo.

Evaluación técnica de bocetos (matriz de selección)

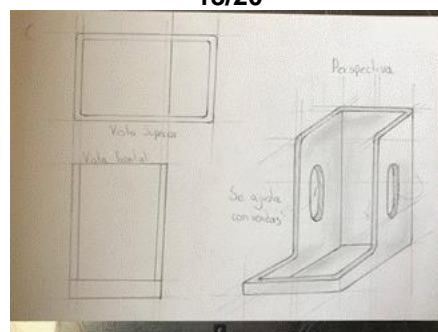
Tabla 14 . Evaluación técnica de bocetos

| Propuesta | Comodidad | Costo | Viabilidad Técnica | Personalización | Puntaje Total |
|---|-----------|------------|--------------------|-----------------|---------------|
| A | ★★★★☆ | ★★☆☆☆ ☆ | ★★★★☆ ☆ | ★★★★☆ | 10/20 |
|  | | | | | |
| B | ★★★★☆ | ★★★★☆ ☆ | ★★★★☆ ☆ | ★★★★☆ | 15/20 |
|  | | | | | |
| C | ★★★★☆ | ★★☆☆☆ ☆ | ★★★★☆ ☆ | ★★★★☆ | 13/20 |
|  | | | | | |
| D | ★★★★★ | ★★★★☆ ☆ | ★★★★☆ ★ | ★★★★☆ | 17/20 |
|  | | | | | |

E

★★★★☆ ★★★★★ ★★★★★ ★★★★★

13/20



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 13 que se refiere a la valoración técnica de bocetos, se determinó que la propuesta D fue la seleccionada para su desarrollo. Esta elección se basó en el mayor puntaje total obtenido (17/20), se destaca aspectos claves como comodidad, costo, viabilidad técnica y personalización, lo cual fue validado también por la opinión de un experto en el área. La propuesta D sobresalió especialmente en comodidad (★★★★★) y viabilidad técnica (★★★★★), lo que la convierte en una alternativa funcionalmente sólida para el diseño del dispositivo ortopédico.

Sin embargo, a pesar de su alta puntuación, se identificaron áreas de oportunidad en el diseño estructural y funcional, por lo que se propusieron mejoras específicas para optimizar su rendimiento y adaptabilidad. Las mejoras implementadas fueron:

Se añadió mayor sujeción en la parte externa del dispositivo mediante elementos adicionales que facilitan un mejor agarre de las vendas, lo que asegura una mayor estabilidad durante su uso. El diseño fue dividido en cuatro módulos, lo que permite una personalización mucho más precisa, adaptándose mejor a distintas formas y necesidades de los canes. Además, cuenta con una estructura ajustable que posibilita modificar el tamaño del dispositivo, se amplía así su aplicación y facilita su adaptación a las diferentes etapas del tratamiento. Estas mejoras no solo refuerzan las cualidades del diseño original, sino que también incrementan su funcionalidad, comodidad y versatilidad. Todo ello se alinea con los principios del *Design Thinking* y la Ingeniería Inversa que se emplearon en esta investigación, que dan lugar al diseño final.

Ilustración 1. Diseño final



Fuente: elaboración propia

Comparación de materiales (matriz de selección):

La tabla 14 presenta una comparación entre distintos materiales comúnmente utilizados en impresión 3D y manufactura de piezas funcionales. Aunque el producto final se realiza con ABS, se incluyen materiales como PLA y Resina por su popularidad en la industria. La selección se ha realizado considerando propiedades clave como resistencia mecánica, facilidad de impresión, costo, acabado superficial y aplicabilidad al producto.

Tabla 15. Comparación de materiales

| Material | Resistencia Mecánica | Facilidad de Impresión | Costo | Acabado Superficial | Aplicabilidad al Producto |
|---------------------------|----------------------|------------------------|-------|---------------------|---------------------------|
| ABS | Alta | Media | Medio | Bueno | Muy Alta |
| PLA | Media | Alta | Bajo | Muy Bueno | Media |
| Resina (UV) | Alta | Media | Medio | Excelente | Alta |
| PETG | Alta | Media | Medio | Bueno | Alta |
| Nylon | Muy Alta | Baja | Alto | Regular | Muy Alta |
| TPU | Media | Media | Medio | Bueno | Media |
| Policarbonato (PC) | Muy Alta | Baja | Alto | Regular | Muy Alta |
| HIPS | Media | Media | Medio | Bueno | Media |
| ASA | Alta | Media | Medio | Bueno | Alta |
| POM (Delrin) | Muy Alta | Baja | Alto | Bueno | Alta |

Fuente: elaboración propia. Datos obtenidos de (Formlabs, 2024)

Resultado de la fase 3:

Se tiene una propuesta preliminar clara del diseño del nuevo dispositivo, integrando:

Requerimientos clínicos reales.

Rediseño técnico basado en ingeniería inversa.

Tecnología de escaneo 3D como base para personalización.

Materiales viables y accesibles para impresión 3D.

Hasta la fase 3 de *Design Thinking*, el proceso ha permitido comprender profundamente las necesidades clínicas y técnicas, definir claramente las brechas de los dispositivos actuales, y generar propuestas viables fundamentadas en ingeniería inversa. La siguiente etapa (Prototipado) requerirá implementar el modelo CAD con base en los escaneos realizados y realizar pruebas funcionales en entorno simulado o controlado.

FASE 4: Prototipar: Construcción del modelo físico del dispositivo**Objetivo:**

Proponer un dispositivo para el tratamiento de fracturas de radio y cúbito en canes.

Propósito de esta fase:

Materializar el modelo digital desarrollado en la fase 3 en un prototipo físico funcional, que pueda ser evaluado por veterinarios y ajustado iterativamente. La etapa prototípica permite validar ideas antes de invertir en producción industrial.

Impresión 3D del dispositivo:

Se realiza un proceso específico para la realización del prototipo a través de impresoras 3D siguiendo el siguiente orden lógico.

Se imprime el modelo CAD en escala real usando tecnología FDM.

Se prueban varias configuraciones según el tamaño del perro (razas).

Montaje y ensamblaje del prototipo:

- Se ensambla el dispositivo, verificando:
- Correcto cierre y ajuste.
- Ausencia de bordes filosos.
- Facilidad de colocación.
- Validación inicial con profesionales:

Se organiza una sesión de prueba con al menos 2 veterinarios colaboradores.

Se evalúan aspectos como:

- Facilidad de instalación.
- Comodidad del perro (usando un modelo anatómico).
- Posibilidad de ajustes o mejoras.
- Registro y análisis de retroalimentación:
- Se documentan observaciones, sugerencias y posibles fallas.

Resultado esperado:

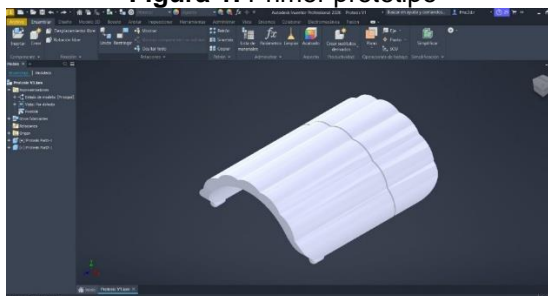
Prototipo físico funcional del dispositivo ortopédico.

Registro de observaciones clínicas para refinar el diseño.

Base para pasar a fase de prueba en animales o validación extendida (según permisos éticos).

A continuación, en la figura 1 se presenta el primer prototipo diseñado.

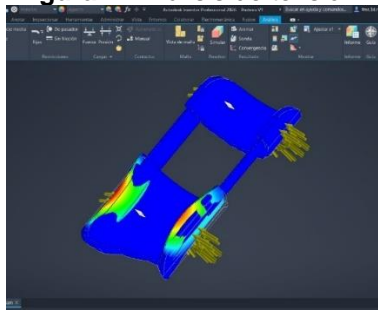
Figura 1. Primer prototipo



Fuente: elaboración propia

De la figura 1, se indica que se desarrolló un primer prototipo con el objetivo de identificar y corregir posibles errores a través de la experiencia práctica durante su impresión y ensamblaje, evaluando aspectos clave mediante el tacto; el diseño inicial fue realizado en el software Autodesk Inventor, tomando como base la idea definida en el boceto final, lo que permitió trasladar con mayor precisión el concepto al entorno digital para su posterior materialización.

Figura 2. Análisis de tensión 1



Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en Inventor (2025).

De acuerdo con la imagen anterior, se menciona que se realizó un análisis de tensión en el diseño. Este análisis permitió identificar, mediante una visualización por zonas de color, que las áreas marcadas en rojo presentan las mayores deformaciones y concentraciones de esfuerzo, lo que indica una alta probabilidad de rotura debido a la presión ejercida por las vendas, para la simulación, se aplicó una carga de 1.5 MPa, valor que fue determinado en base a la información proporcionada y validada por los veterinarios que han colaborado en el proyecto. Los resultados del análisis sugieren que se debe reforzar estructuralmente esa zona crítica para evitar fallos durante el uso real del dispositivo.

Figura 3. Imagen de prototipo

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en Inventor (2025).

El prototipo fue impreso en PLA con el objetivo de evaluar de manera más precisa su forma y dimensiones. Esta prueba permitió confirmar los resultados obtenidos en el análisis previo, se observó una alta presión y deformación en una de las zonas críticas, lo que provocó la rotura de una de las patas al someter el producto a una fuerza de estiramiento. Gracias a esta experiencia práctica, se identificaron aspectos clave a mejorar en el diseño final. Entre las principales modificaciones se consideraron: la reducción del ancho del dispositivo para optimizar su ergonomía, la incorporación de una estructura de refuerzo en la parte media para mejorar su resistencia durante la fase de estiramiento, y el incremento de 3 mm en el grosor general, con el fin de aumentar la durabilidad tanto del cuerpo principal como de las patas del prototipo.

Prototipo final

Figura 4. Imágenes del diseño prototipo final

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en Inventor (2025).

Proceso de impresión

Para el proceso de laminación se utilizó el software OrcaSlicer, el cual requiere que el archivo de diseño esté en formato STL para ser procesado correctamente. El material empleado en la impresión fue filamento ABS, con un consumo total de 32,20 gramos. La impresión se realizó a una temperatura de extrusión de 240 °C y una temperatura de cama de 90 °C, condiciones óptimas para garantizar una buena adherencia del material a la base. Se implementaron soportes tipo árbol para asegurar la correcta formación de las partes en voladizo de la pieza. El tiempo total de impresión fue de 4 horas y 56 minutos para uno de los dispositivos.

Figura 5. Imagen del programa de impresión antes de impresión



Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en Inventor (2025).

Resultado impreso

Figura 6. Prototipo final



Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Análisis de costos

| Costos | Recursos | Descripción | Unidad | Costo unitario | Costo total |
|--------------------------|------------------|--------------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| Costos directos | Materiales | ABS | 64,4 gr | 1,61 ctvs. | 1,61 ctvs. |
| | Maquina | Impresora 3D | 9,12 horas | 1,5 USD/h | 13,68 USD |
| | Diseño prototipo | Trabajo personal | 48 horas | 2.9 USD/h | 139,2 USD |
| Costos indirectos | | taxi | 50 km | 1.25 USD/km | 63.5 USD |
| | Transporte | | | | |
| | | | | | 217,99 USD |

Fuente: elaboración propia

El presente cuadro resume de manera detallada los costos asociados a la elaboración de un prototipo mediante tecnología de impresión 3D, diferenciando claramente entre los costos directos e indirectos del proceso. Dentro de los costos directos, se incluyen los materiales utilizados, como el filamento ABS, con un consumo de 64,4 gramos y un costo de \$0,0161; el uso de la impresora 3D, cuya operación durante 9,12 horas representa un gasto de \$13,68; y el diseño del prototipo, valorado en \$139,20 por 48 horas de trabajo técnico a una tarifa de \$2,90 por hora. Estos elementos reflejan los recursos esenciales vinculados directamente con la producción del prototipo. Por otro lado, se consideran costos indirectos los relacionados al transporte, en este caso el uso de taxi para un recorrido total de 50 km, lo cual representa un costo adicional de \$63,50. En conjunto, la suma total asciende a \$217,99, monto que refleja una estimación razonable y proporcional considerando las horas de trabajo técnico, los recursos materiales empleados y los gastos logísticos necesarios para el desarrollo del prototipo.

Para el proceso de laminación se utilizó el software OrcaSlicer, el cual requiere que el archivo de diseño esté en formato STL para ser procesado correctamente. El material empleado en la impresión fue filamento ABS, con un consumo total de 32,20 gramos. La impresión se realizó a una temperatura de extrusión de 240 °C y una temperatura de cama de 90 °C, condiciones óptimas para garantizar una buena adherencia del material a la base. Se implementaron soportes tipo árbol para asegurar la correcta formación de las partes en voladizo de la pieza. El tiempo total

de impresión fue de 4 horas y 56 minutos para uno de los dispositivos.

FASE 5: Evaluar: Validación del dispositivo en entorno real simulado

Objetivo:

Proponer un dispositivo para el tratamiento de fracturas de radio y cúbito en canes.

Propósito de esta fase:

Evaluar el rendimiento, la aceptación y la funcionalidad del prototipo desde la perspectiva de los usuarios finales y expertos, mediante un proceso iterativo que permite identificar mejoras necesarias.

Actividades:

Aplicación del dispositivo en entorno controlado (modelo canino o perro en recuperación):

Se realiza la colocación del dispositivo bajo supervisión de un veterinario, en una situación simulada o real.

Se evalúan: tiempo de instalación, ajuste cómodo, movilidad limitada, puntos de presión.

Recolección de retroalimentación técnica (entrevistas post-uso):

Veterinarios ofrecen retroalimentación sobre el uso del dispositivo, comodidad del can, facilidad de limpieza, aceptación del dispositivo en casa, comparándolo con otros modelos.

Se mide la resistencia del producto mediante un análisis estructural.

Revisión técnica del prototipo:

Se identifican desgastes, posibles fallas o puntos de mejora.

Iteración del diseño (si es necesario):

Se vuelve al modelo CAD para implementar mejoras y reimprimir una segunda versión.

Resultado esperado:

Validación cualitativa del dispositivo en condiciones clínicas.

Informe con ajustes finales para un diseño ortopédico eficiente, cómodo y aplicable.

Fundamento para escalabilidad o transferencia tecnológica.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para validar la efectividad del diseño, se utilizará el Sistema de Escala de Usabilidad (SUS, por sus siglas en inglés). Esta herramienta permite medir la percepción de usabilidad de un producto por parte de los usuarios a través de una lista de cotejo estructurada. Según la metodología del SUS, una puntuación superior al 68% se considera aceptable. En este caso, se obtuvo un resultado del 75%, lo cual indica una buena aceptación y funcionalidad del prototipo. Este valor se justifica en base a los ajustes realizados tras las pruebas iniciales, los cuales mejoraron significativamente la experiencia de uso y la resistencia del producto, validando así la pertinencia de las modificaciones implementadas.

Tabla 17. Lista de cotejos a veterinarios

| Categoría / Ítem Evaluado | Dr. Soria | Dra. Salinas | Dr. Mejía |
|--|------------------|---------------------|------------------|
| 1. Diseño y funcionalidad | | | |
| Ajuste al antebrazo | 3 | 4 | 3 |
| Comodidad para el animal | 4 | 4 | 3 |
| Facilidad de colocación y retiro | 5 | 4 | 4 |
| Subtotal Diseño y funcionalidad | 12/15 | 12/15 | 10/15 |
| 2. Desempeño clínico | | | |
| Efectividad de inmovilización | 4 | 4 | 4 |
| Estabilidad y rigidez | 3 | 3 | 3 |
| Adaptación a distintas razas pequeñas | 5 | 3 | 4 |
| Subtotal Desempeño clínico | 12/15 | 10/15 | 11/15 |
| 3. Materiales | | | |
| Resistencia del material | 4 | 4 | 4 |
| Facilidad de limpieza y desinfección | 5 | 4 | 5 |
| Seguridad del material para la piel | 5 | 4 | 5 |
| Subtotal Materiales | 14/15 | 12/15 | 14/15 |
| 4. Factores prácticos (precio y mercado) | | | |
| Precio estimado | 4 | 4 | 4 |
| Costo-beneficio frente a productos importados | 5 | 4 | 4 |
| Competitividad frente a soluciones artesanales (PVC, aluminio) | 5 | 4 | 5 |
| Subtotal Factores prácticos | 14/15 | 12/15 | 13/15 |
| 5. Evaluación general | | | |
| Satisfacción general | 4 | 4 | 4 |
| Percepción como innovación útil | 4 | 3 | 4 |
| Probabilidad de uso en casos reales | 4 | 4 | 4 |
| Subtotal Evaluación general | 12/15 | 11/15 | 12/15 |
| TOTAL POR VETERINARIO (puntaje máximo = 75) | 64/75 | 57/75 | 60/75 |
| PORCENTAJE (%) | 85.3% | 76.0% | 80.0% |

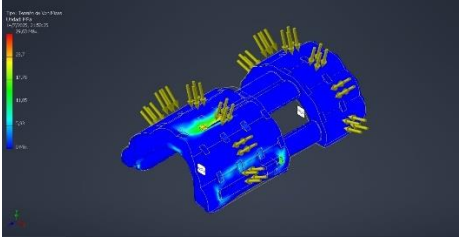
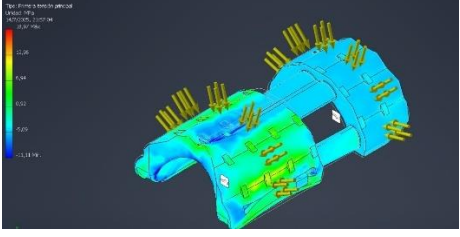
Fuente: elaboración propia

En la tabla 14 se evidencia que todos los resultados obtenidos superan el umbral del 68% establecido por la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS), validando la propuesta del dispositivo ortopédico como funcional, cómodo y viable tanto técnica como económicamente. En promedio, el producto obtuvo una calificación de 80.4%, superando el objetivo del 75% y confirmando su aceptación por parte de los veterinarios participantes.

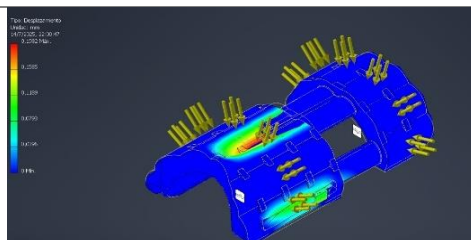
3.1. Análisis estructural

El análisis estático realizado con Autodesk Inventor 2026 evaluó el comportamiento del dispositivo ortopédico bajo cargas constantes, en condiciones de equilibrio, sin activación de modos de cuerpo rígido ni separación de tensiones en superficies de contacto. El modelo principal presenta una masa de 0,0216 kg, un área superficial de 14,621.7 mm² y un volumen de 21,140.3 mm³, con su centro de gravedad ubicado en las coordenadas $x = -5,64$ mm, $y = -1,55$ mm y $z = -41,41$ mm. El dispositivo está fabricado en plástico ABS, un termoplástico común con una densidad de 1,06 g/cm³, un límite elástico de 20 MPa, resistencia máxima a la tracción de 29,6 MPa, módulo de Young de 2,24 GPa, coeficiente de Poisson de 0,38 y módulo cortante de 0,81 GPa. Durante el análisis, se aplicó una presión constante de 1,5 MPa para simular las condiciones de funcionamiento del dispositivo.

Tabla 18. Resultados mediante análisis estructural

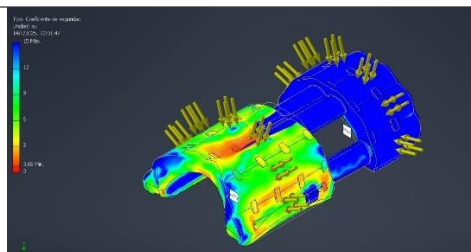
| Nombre del análisis | Imagen | Descripción |
|---------------------------------------|---|--|
| <p>Análisis de tensiones 1</p> |  | <p>Se llevó a cabo un análisis estático en Autodesk Inventor 2026 aplicando una presión de 1.5 MPa sobre el modelo, obteniéndose una tensión máxima de 29.63 MPa según el criterio de Von Mises, localizada en la parte superior central del dispositivo, mientras que el resto de la estructura presenta esfuerzos significativamente menores. El material evaluado, plástico ABS, tiene un límite elástico de 20 MPa y una resistencia a la tracción de 29.6 MPa. Dado que la tensión máxima excede el límite elástico del material, es probable que en las zonas más críticas ocurran deformaciones permanentes, lo que evidencia la necesidad de reforzar o rediseñar dicha área para prevenir posibles fallas estructurales.</p> |
| <p>Análisis de tensiones 2</p> |  | <p>El análisis estático realizado en Autodesk Inventor 2026 sobre el modelo "Prótesis V1" con una presión aplicada de 1.5 MPa reveló una tensión máxima de tracción de 18.97 MPa en la zona superior central, y una tensión de compresión de -11.11 MPa en la base, mientras que el resto del dispositivo presenta esfuerzos moderados a bajos. El material utilizado, plástico ABS, cuenta con un límite elástico de 20 MPa y una resistencia a la tracción de 29.6 MPa. Dado que la tensión máxima se mantiene por debajo del límite elástico, el prototipo puede soportar la carga aplicada sin riesgo de deformaciones permanentes, evidenciando que el diseño resiste adecuadamente las condiciones de carga sin comprometer su integridad estructural.</p> |

Análisis de desplazamiento



El análisis estático mostró un desplazamiento máximo de 0.1962 mm en la parte superior central del dispositivo, coincidiendo con la zona de mayor concentración de cargas y tensiones, mientras que el resto de la estructura presenta movimientos mínimos, especialmente en las áreas fijas o restringidas. Fabricado en plástico ABS, este desplazamiento es insignificante en comparación con el tamaño total del dispositivo, lo que indica que mantiene su forma y funcionalidad bajo las cargas aplicadas, sin sufrir deformaciones críticas que comprometan su integridad estructural.

Análisis del factor de seguridad



El análisis evaluó la resistencia del diseño ante las cargas aplicadas, identificando un factor de seguridad (FS) mínimo de 0.68 en la parte superior central, lo que indica un riesgo potencial de falla en esa zona. En contraste, la mayoría del dispositivo presenta valores de FS elevados, entre 6 y 15, señalando que esas áreas son estructuralmente seguras. Fabricado en plástico ABS, el dispositivo requiere refuerzos en las zonas críticas con FS menor a 1 para asegurar su integridad estructural y evitar posibles fallas bajo condiciones de carga.

Fuente: elaboración propia

En las imágenes del análisis estructural, identificadas en la tabla 15, las flechas amarillas representan las cargas aplicadas al dispositivo, correspondientes a las fuerzas que se ejercen durante su uso. Para este estudio, se seleccionó el material ABS, aplicando una carga total de 3 MPa: 1,5 MPa atribuida a la presión del vendaje y 1,5 MPa correspondiente a una posible mordida. Estos valores fueron determinados con base en la información proporcionada por los veterinarios que participaron activamente en la investigación.

En la tabla 17, en la primera imagen (análisis de tensiones 1), se observa que las zonas con colores más claros indican las áreas con mayor probabilidad de rotura, allí se concentran los esfuerzos más críticos. La segunda imagen (análisis de

tensiones 2) refuerza esta observación, mostrando en color rojo el punto exacto donde podría producirse una rotura bajo condiciones de carga.

El tercer análisis corresponde al desplazamiento, donde se identifica la zona del dispositivo que podría sufrir una deformación significativa debido a la presión ejercida, particularmente si no cuenta con un refuerzo estructural. Esta deformación podría derivar en una rotura si la fuerza se concentra en esa región.

Finalmente, el cuarto análisis evalúa el factor de seguridad considerando la mordida de un perro de raza pequeña sin que el dispositivo esté colocado. En este caso, la zona azul indica áreas seguras que soportarían la mordida, mientras que la zona roja señala la región más vulnerable, donde, en el peor de los escenarios, podría producirse una rotura interna, aunque la parte externa del dispositivo se mantendría intacta.

Como conclusión los resultados indican que el dispositivo, en combinación con el material ABS y su diseño geométrico, es capaz de soportar las fuerzas reales que enfrentará durante su uso, tanto por la presión del vendaje como por posibles mordidas. Esto valida que tanto la elección del material como la forma del diseño son adecuadas para los fines del proyecto.

Como conclusión general, los resultados indican que el dispositivo, en combinación con el material ABS y su diseño geométrico, es capaz de soportar las fuerzas reales que enfrentará durante su uso, tanto por la presión del vendaje como por posibles mordidas. Esto valida que tanto la elección del material como la forma del diseño son adecuadas para los fines del proyecto.

CONCLUSIONES

- El presente estudio permitió identificar que, en ciudades como Ambato y Quito, existe una disponibilidad limitada de dispositivos ortopédicos específicamente diseñados para el tratamiento de fracturas de radio y cúbito en canes. Esta carencia se debe principalmente a factores económicos, logísticos y técnicos, lo que obliga a los veterinarios a emplear férulas improvisadas con materiales artesanales o adaptaciones humanas que no se ajustan correctamente a la anatomía del animal. Esta situación evidenció la necesidad de desarrollar un dispositivo más ergonómico, accesible y adaptado a las condiciones reales del entorno clínico local.
- Para abordar este problema, se aplicó un enfoque basado en ingeniería inversa, utilizando herramientas tecnológicas como el escaneo 3D y el modelado CAD. Este proceso permitió establecer la geometría digital precisa del dispositivo seleccionado y generar un diseño optimizado del dispositivo ortopédico. A partir del análisis técnico y estructural, se logró desarrollar un prototipo más resistente y funcional, adaptado a razas pequeñas, garantizando un mejor ajuste anatómico y reduciendo el riesgo de deformaciones permanentes. El modelo digital permitió también corregir fallas detectadas en dispositivos previamente existentes, con base en criterios clínicos, biomecánicos y estructurales.
- El diseño propuesto fue validado mediante entrevistas y listas de cotejo aplicadas a siete veterinarios de distintas clínicas en Ambato, quienes evaluaron la funcionalidad, seguridad, facilidad de uso y comodidad del dispositivo. Los resultados mostraron una aceptación favorable del prototipo, destacando su resistencia, bajo costo, facilidad de limpieza y adaptabilidad al cuerpo del can. Asimismo, los análisis estructurales realizados confirmaron que el dispositivo soporta las cargas comunes en contextos clínicos, manteniendo su integridad incluso ante presión, vendajes o mordidas, lo que demuestra su viabilidad técnica y su potencial uso en la práctica veterinaria.

- Finalmente, la aplicación del modelo *Design Thinking* fue clave en el proceso de diseño, permitió comprender de forma empática las necesidades del usuario técnico (veterinario) y de canes, guiando el desarrollo desde la identificación del problema hasta la validación del prototipo. Esta metodología permitió generar una solución innovadora, ajustada a las condiciones reales de uso, iterativa y mejorable, demostrando que es una herramienta efectiva para el diseño de dispositivos personalizados en el ámbito veterinario.

RECOMENDACIONES

- Desarrollar procesos de producción local de dispositivos ortopédicos para canes, empleando tecnologías como la impresión 3D con materiales accesibles (por ejemplo, ABS o PLA), lo cual permitiría reducir costos, mejorar la disponibilidad y adaptar los diseños a las necesidades anatómicas de distintas razas.
- Implementar programas de formación técnica continua para veterinarios y diseñadores, enfocados en el uso de herramientas digitales como el escaneo 3D y el modelado CAD, con el fin de fomentar capacidades para adaptar y personalizar dispositivos ortopédicos con base en ingeniería inversa.
- Establecer alianzas entre universidades, clínicas veterinarias y centros de diseño e innovación, que promuevan el desarrollo colaborativo de soluciones ortopédicas a través de metodologías centradas en el usuario, como *Design Thinking*, y que respondan a contextos reales del entorno veterinario local.
- Optimizar continuamente el diseño del dispositivo ortopédico mediante ciclos iterativos de validación, incorporando retroalimentación de usuarios reales (veterinarios y tutores) y evaluaciones clínicas prácticas que permitan mejorar aspectos como el ajuste, la comodidad y la resistencia estructural.
- Fomentar la creación de un repositorio digital de geometrías escaneadas, organizadas por fractura, raza y tamaño, que sirva de base para la personalización rápida y eficiente de futuros dispositivos ortopédicos desarrollados con tecnologías de fabricación digital.
- Explorar el uso de materiales alternativos o combinados (como TPU flexible para zonas de contacto) que aumenten la comodidad del canino sin comprometer la resistencia estructural, especialmente en dispositivos que requieren uso prolongado o en tratamientos complejos.

- Considerar la estandarización de criterios técnicos y clínicos para el diseño ortopédico veterinario, de manera que se promueva una base de calidad mínima y se facilite la validación de nuevos prototipos para su aplicación en distintos entornos.

BIBLIOGRAFÍA

- Castaño, C. (2021). *Dispositivo para Tratar Fracturas Simples de Tibia y Peroné en Perros*. Universidad Católica de Pereira. <https://doi.org/https://repositorio.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/f7545582-7a24-4126-9cdc-a5a3a8e87eb4/content>
- Çatalkaya, E., Yayla, S., Altan, S., & Ersöz-Kanay, B. (2024). Evaluación clínica de las complicaciones tras el tratamiento quirúrgico de las luxaciones de rótula en perros: Un estudio retrospectivo. *Medicina Veterinaria*, 34(1), 6-26. <https://doi.org/https://doi.org/10.52973/rcfcv-e34300>
- Cruz, J., & Gaviria, A. (2019). <http://dx.doi.org/10.19052/mv.3860>. *Revista Médica Veterinaria*, 32(1), 109-120. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.19052/mv.3860>
- Culqui, W., Robles, J., & Ramos, M. (2023). Utilidad de la tecnología CAD/CAM en la fabricación de prótesis. *Medisur*, 21(6), 1305-1366. <https://doi.org/http://scielo.sld.cu/pdf/ms/v21n6/1727-897X-ms-21-06-1305.pdf>
- Dybczynska, M., Goleman, M., Garbiec, A., & Karpinsky, M. (2022). Técnicas seleccionadas de fisioterapia en perros. *Animales*, 12(14), 1760-1770. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ani12141760>
- Espín, S., Urrutia, E., Guamanquispe, J., Lascano, A., & Freire, D. (2023). Diseño y construcción de una prótesis de pata de can con amputación de extremidad delantera mediante impresión 3D. *Novasinerгия*, 6(2), 143-153. <https://doi.org/https://doi.org/10.37135/ns.01.12.09>
- Gaillard, F. (2024). Fractura por estrés. *Radiopaedia*, 1(1), 10-26. <https://doi.org/https://doi.org/10.53347/rID-7542>

Gonzalez, M. (2020). *SEGUIMIENTO Y VALORACIÓN DE LA RESPUESTA POSTQUIRÚRGICA A PACIENTES CON ALTERACIONES DE LA ARTICULACIÓN FEMOROTIBIOPATELAR MEDIANTE GONIOMETRIA*. UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA. <https://doi.org/https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/5049c874-c010-43fb-bcfb-ff90503af844/content>

Gretha, M., Singh, A., Asokamani, R., & Gogia, A. (2019). Biomateriales a base de Ti, la mejor opción para implantes ortopédicos: una revisión. *Progreso en la ciencia de los materiales*, 54(3), 397-425. <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079642508001126>

Gutierrez, W., Lemos, T., Galiano, G., & Madrigal, J. (2019). Aplicaciones de las Impresoras 3D en el desarrollo de prótesis para cirugía de reemplazo protésico (artroplastias). Uso en caninos. *Tecnología en marcha*, 31(3), 131-142. <https://doi.org/DOI: 10.18845/tm.v31i3.3908>

Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill. <https://doi.org/https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Leonardi, L., Marsili, R., Angeli, G., Emiliani, C., Ricci, A., & Rossi, G. (2021). A pilot study on the use of 3D printers in veterinary medicine. *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*, 14(3), 159-164. <https://doi.org/https://bjvp.org.br/wp-content/uploads/2021/11/v14-n3-3.pdf>

Memarian, P., Pishavar, E., Zanotti, F., Trentini, M., Camponogara, F., & Soliani, E. (2022). Materiales activos para impresión 3D en pequeños animales: modalidades actuales y futuras direcciones para aplicaciones ortopédicas. *Int J Mol Sci*, 18(23), 1-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijms23031045>

Nexdu. (13 de 05 de 2025). *Clinicas Veterinarias en Ambato*.
<https://www.nexdu.com/ec/q/ambato-t/clinicas-veterinarias>

Piermattei, D. (2019). Manual de ortopedia en pequeños animales y reparación de fracturas, 4.^a ed. *Can Vet J.*, 48(11), 345-367.
<https://doi.org/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2034428/pdf/cvj48pg1168.pdf>

Pimbosa, E. (2021). Fracturas apendiculares en caninos politraumatizados, complicaciones asociadas y tratamientos actuales. *South Florida Journal of Development*, 2(2), 1942-1954. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n2-096>

Quezada, M. (2022). *REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE NUEVAS ALTERNATIVAS DE IMPLANTES A BASE DE BIOMATERIALES SINTÉTICOS Y BIOLÓGICOS PARA FRACTURAS DIAFISARIAS EN LAS MASCOTAS*. Universidad Técnica de Machala.
<https://doi.org/https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/19843/1/ECUACA-2022-MV-DE00019.pdf>

Rengier, F., Mehndiratta, A., & Tengg-Kobligk, H. (2024). Impresión 3D basada en datos de imágenes: revisión de aplicaciones médicas. *Revista internacional de radiología y cirugía asistida*, 5(4), 335–341.
<https://doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x>

Rojas, J. (2023). *Diseño de ortopedia de rehabilitación y adaptación para caninos*. Universidad del Azuay.
<https://doi.org/https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4759/1/11211.pdf>

Romero, J. (2023). Diseño de órtesis y prótesis de extremidad inferior utilizando técnicas de impresión 3D para uso veterinario. *Revista De Investigación*, 2(14), 66–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/revunivo.v2i14.17080>

- Sánchez, M. (2025). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PRÓTESIS FUNCIONAL PARA LA PATA DELANTERA DE PERROS CON DISCAPACIDAD MOTORA*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://doi.org/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29921/1/UPS-GT006102.pdf>
- Segnini, J., Imbago, k., & Vergara, M. (2024). Órtesis de inmovilización para perros: Un enfoque de bajo costo basado en el diseño generativo. *Odigos*, 5(2), 71–91. <https://doi.org/doi.org/10.35290/ro.v5n2.2024.1233>
- Tapia, D. (2021). *Diseño y elaboración de ortesis económica para caninos con displasia de cadera en el cantón Quito, provincia de Pichincha, Ecuador*. Universidad de Cotopaxi. <https://doi.org/https://repositorio.utc.edu.ec/items/db378db4-47c2-4f82-a0e3-f040b4f2d0d7>
- Thi Kim, C., Binh, C., Dung, Y., & Toa, T. (2023). Diseño y evaluación mecánica de un implante craneal de gran tamaño y piezas de fijación. *Neurocirugía interdisciplinaria*, 31(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inat.2022.101676>
- Toro, I., Orellana, J., & Oliva, S. (2024). Complicaciones postquirúrgicas en pacientes caninos con ruptura de ligamento cruzado craneal. *Rev. investig. vet.*, 35(2), 1-25. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v35i2.26162>
- Uribe, R. (2022). *“Design Thinking: Guía digital básica”*. Instituto Nacional de Aprendizaje. https://doi.org/https://www.ina.ac.cr/inavirtual/Documentos%20compartidos/Material_Apoyo/guiaDesignThinking.pdf
- Varaganty, P., & Seo, S. (2024). Avances recientes en biomimética para el desarrollo de prótesis de inspiración biológica. *Biomimética*, 9(5), 273-286. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/biomimetics9050273>

- Vergel, R. (2024). *Principales casos de fracturas y sus procedimientos ortopédicos en pequeños animales de la Clínica veterinaria Clivovet*. UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA. <https://doi.org/https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/e4fae6d5-97f6-4a9f-aca4-ae124d95a69c/content>
- Wakjira, Y., Kurukkal, N., & Lemu, H. (2024). Ingeniería inversa en aplicaciones médicas: revisión bibliográfica, prueba de concepto y perspectivas futuras. *Sci Rep*, *14*(1), 211-224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-024-74176-z>
- Wu, Y., Liu, J., Kang, L., Tian, J., Hu, J., & Liu, F. (2023). Una visión general de los implantes metálicos impresos en 3D en aplicaciones ortopédicas: perspectivas presentes y futuras. *Heliyon*, *9*(7), 1-34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17718>
- World Small Animal Veterinary Association. (2024). *Congreso Animales*. https://wsava-congress.org/?utm_source=google&utm_medium=paidsearch&utm_campaign=abstract&gad_source=1&gbraid=0AAAAA9_Ai1AmGoMxKtXsxlAEoCf1o-QPM&gclid=Cj0KCQjwh_i_BhCzARIsANimeoG_4tldoCBGs8GN47hqh-AB59GEAgoXYWdDbLGvmSsJfKOiDvAwlpMaAhu3EALw_wcB
- Zambonino, J. (2019). *Diseño de férulas para tratamientos traumatológicos en canes que necesiten inmovilización mediante un estudio zoométrico*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://doi.org/https://repositorio.puce.edu.ec/items/bdcfac46-69d7-4bf3-aa29-68a3bf5a25e5>

ANEXOS

Anexo 1. Entrevistas a veterinarios

| Entrevistas Dra. Mercy Salinas | |
|---|--|
| Pregunta | Respuesta |
| 1. Resumen experiencia en fracturas | 8 años en ortopedia, sobre todo razas pequeñas |
| 2. Frecuencia de fracturas de radio y cúbito | 2-3 veces al mes |
| 3. Dispositivos utilizados y efectividad | Férulas estándar y placas |
| 4. Limitaciones técnicas | Ajuste deficiente en miembros finos |
| 5. Situaciones clave de impacto en recuperación | Cuando permite caminar sin dolor |
| 6. Problemas de ajuste y soluciones | Se agrega vendaje adicional |
| 7. Relevancia del confort animal | Esencial, evita rechazo |
| 8. Factores clave al elegir dispositivo | Tamaño, ligereza, rigidez |
| 9. Influencia del costo | Muy determinante |
| 10. Materiales recomendados | Nylon reforzado |
| 11. Opinión sobre impresión 3D y escaneo | Muy útil para casos complejos |
| 12. Experiencia con dispositivos locales/artesanales | Férulas artesanales, poco cómodas |
| 13. Elementos imprescindibles en diseño | Ajuste anatómico y ligereza |
| 14. Evaluación de adaptación del animal | Regular, lenta en razas pequeñas |
| 15. Ingeniería inversa y mejora | Reduce errores y mejora recuperación |
| <p>Análisis: La Dra. Mercy Salinas, con ocho años de experiencia en ortopedia veterinaria, atiende con frecuencia fracturas de radio y cúbito, especialmente en razas pequeñas. Utiliza férulas estándar y placas, aunque identifica problemas de ajuste en extremidades delgadas, lo cual intenta compensar con vendajes adicionales. Subraya que el confort animal es esencial para evitar el rechazo del dispositivo, y considera determinante el costo al seleccionar una solución. Prefiere materiales como el nylon reforzado por su ligereza y rigidez, y valora la impresión 3D y el escaneo como herramientas útiles en casos complejos. Reconoce que las férulas artesanales son poco cómodas y que un diseño óptimo debe lograr un buen ajuste anatómico. Finalmente, destaca que la ingeniería inversa ayuda a reducir errores y mejora los tiempos de recuperación.</p> | |

| Entrevista Dr. Ricardo Mejía | |
|---|---|
| Pregunta | Respuesta |
| 1. Resumen experiencia en fracturas | 10 años tratando fracturas, razas medianas |
| 2. Frecuencia de fracturas de radio y cúbito | 1 o 2 casos al mes |
| 3. Dispositivos utilizados y efectividad | Tornillos y férulas |
| 4. Limitaciones técnicas | Poco confort, rigidez excesiva |
| 5. Situaciones clave de impacto en recuperación | Si el dispositivo no molesta al animal |
| 6. Problemas de ajuste y soluciones | Acolchado extra o férula modificada |
| 7. Relevancia del confort animal | Muy importante para evitar lesiones secundarias |
| 8. Factores clave al elegir dispositivo | Comodidad, durabilidad |
| 9. Influencia del costo | Altísima, limita opciones |
| 10. Materiales recomendados | Plásticos livianos |
| 11. Opinión sobre impresión 3D y escaneo | Innovador y eficaz |
| 12. Experiencia con dispositivos locales/artesanales | Sí, pero menos eficaces |
| 13. Elementos imprescindibles en diseño | Que se coloque y retire fácil |
| 14. Evaluación de adaptación del animal | Adaptación progresiva |
| 15. Ingeniería inversa y mejora | Mejora ajuste y economía |
| <p>Análisis: El Dr. Ricardo Mejía, con una trayectoria de diez años en el tratamiento de fracturas, especialmente en razas medianas, reporta entre uno y dos casos mensuales de fracturas de radio y cúbito. Utiliza tornillos y férulas, aunque reconoce limitaciones técnicas relacionadas con la rigidez y el bajo confort de los dispositivos. Señala que el éxito en la recuperación depende de que el dispositivo no cause molestias al animal, y para mejorar el ajuste recurre a acolchados o modificaciones en la férula. Destaca la importancia del confort para evitar lesiones secundarias y resalta que el costo es un factor muy limitante. Prefiere materiales plásticos livianos y considera a la impresión 3D como una herramienta eficaz e innovadora. Aunque ha utilizado dispositivos artesanales, los considera menos eficaces. Finalmente, valora que el diseño permita una fácil colocación y retiro, y reconoce que la ingeniería inversa contribuye a un mejor ajuste y mayor eficiencia económica.</p> | |

| Entrevistas | |
|--|-----------------------------------|
| Pregunta | Respuesta |
| 1. Resumen experiencia en fracturas | 6 años como ortopedista clínica |
| 2. Frecuencia de fracturas de radio y cúbito | Bimensualmente |
| 3. Dispositivos utilizados y efectividad | Férulas con yeso moldeado |
| 4. Limitaciones técnicas | Pesadez y ajuste imperfecto |
| 5. Situaciones clave de impacto en recuperación | Si se ajusta bien desde el inicio |
| 6. Problemas de ajuste y soluciones | Cambios manuales en clínica |
| 7. Relevancia del confort animal | Es determinante |
| 8. Factores clave al elegir dispositivo | Peso, firmeza, costo |
| 9. Influencia del costo | Limita tratamiento óptimo |
| 10. Materiales recomendados | PLA acolchado |
| 11. Opinión sobre impresión 3D y escaneo | Recomendable con ajustes |
| 12. Experiencia con dispositivos locales/artesanales | Comunes en emergencias |
| 13. Elementos imprescindibles en diseño | Firmeza, peso liviano |
| 14. Evaluación de adaptación del animal | Lenta sin buen diseño |
| 15. Ingeniería inversa y mejora | Aumenta eficiencia |
| <p>Análisis: La Dra. Carla Molina, con seis años de experiencia en ortopedia clínica, atiende fracturas de radio y cúbito aproximadamente cada dos meses, utilizando férulas con yeso moldeado. Identifica como principales limitaciones la pesadez del dispositivo y un ajuste que no siempre es preciso, señalando que una buena recuperación depende de que el dispositivo se adapte bien desde el inicio. Frente a problemas de ajuste, realiza modificaciones manuales en la clínica. Resalta que el confort del animal es determinante en el proceso de curación y que factores como el peso, la firmeza y el costo influyen directamente en la elección del dispositivo. Reconoce que el costo puede limitar la calidad del tratamiento, y sugiere el uso de PLA acolchado como material preferido. Considera que la impresión 3D y el escaneo son útiles, aunque requieren ajustes, y señala que los dispositivos artesanales son comunes en situaciones de emergencia. Finalmente, valora la ingeniería inversa por su capacidad de mejorar la eficiencia del tratamiento.</p> | |

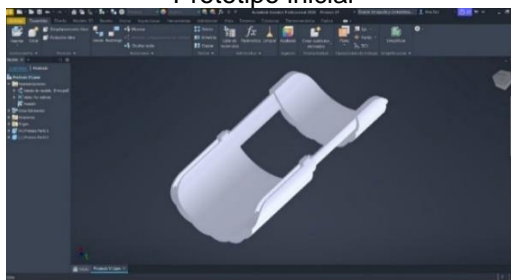
| Entrevista Dr. Eduardo Lara | |
|---|------------------------------------|
| Pregunta | Respuesta |
| 1. Resumen experiencia en fracturas | Especialista en cirugía ortopédica |
| 2. Frecuencia de fracturas de radio y cúbito | Frecuente en perros pequeños |
| 3. Dispositivos utilizados y efectividad | Férulas hechas a mano |
| 4. Limitaciones técnicas | Problemas estéticos y funcionales |
| 5. Situaciones clave de impacto en recuperación | Cuando el perro lo tolera |
| 6. Problemas de ajuste y soluciones | Ajustes térmicos al material |
| 7. Relevancia del confort animal | Crítico para uso continuo |
| 8. Factores clave al elegir dispositivo | Tamaño, materiales suaves |
| 9. Influencia del costo | Factor más influyente |
| 10. Materiales recomendados | Plástico resistente |
| 11. Opinión sobre impresión 3D y escaneo | Ideal para personalizar |
| 12. Experiencia con dispositivos locales/artesanales | Uso frecuente por economía |
| 13. Elementos imprescindibles en diseño | Adaptabilidad, economía |
| 14. Evaluación de adaptación del animal | Adaptación depende del material |
| 15. Ingeniería inversa y mejora | Disminuye costos |
| <p>Análisis: El Dr. Eduardo Lara, especialista en cirugía ortopédica, trata con frecuencia fracturas de radio y cúbito en perros pequeños, empleando férulas artesanales debido a su viabilidad económica. Señala como principales limitaciones los problemas tanto estéticos como funcionales de estos dispositivos. Considera que la recuperación mejora cuando el animal tolera el dispositivo, y realiza ajustes térmicos para optimizar el encaje. Destaca que el confort es crítico para lograr un uso continuo, y que el tamaño y la suavidad del material son claves al momento de seleccionar un dispositivo. Reconoce que el costo es el factor más determinante en la elección, recomendando plásticos resistentes por su durabilidad. Valora la impresión 3D y el escaneo como herramientas ideales para la personalización y afirma que la ingeniería inversa contribuye significativamente a reducir los costos, sin comprometer la funcionalidad del tratamiento.</p> | |

| Entrevistas Dra. Natalia Torres | |
|--|---|
| Pregunta | Respuesta |
| 1. Resumen experiencia en fracturas | Alta casuística urbana, experiencia variada |
| 2. Frecuencia de fracturas de radio y cúbito | Alta en meses fríos |
| 3. Dispositivos utilizados y efectividad | Férulas, clavos internos |
| 4. Limitaciones técnicas | Tamaño no anatómico |
| 5. Situaciones clave de impacto en recuperación | Si es liviano y estable |
| 6. Problemas de ajuste y soluciones | Adaptación de forma y tamaño |
| 7. Relevancia del confort animal | Altísima, influye en todo el proceso |
| 8. Factores clave al elegir dispositivo | Precisión anatómica |
| 9. Influencia del costo | Condiciona el tratamiento |
| 10. Materiales recomendados | Acrílico médico |
| 11. Opinión sobre impresión 3D y escaneo | Viable y prometedor |
| 12. Experiencia con dispositivos locales/artesanales | Se han probado en campo |
| 13. Elementos imprescindibles en diseño | Precisión y ventilación |
| 14. Evaluación de adaptación del animal | Variable según peso y forma |
| 15. Ingeniería inversa y mejora | Clave para desarrollar localmente |
| <p>Análisis: La Dra. Natalia Torres, con amplia experiencia en contextos urbanos, destaca una alta incidencia de fracturas de radio y cúbito durante los meses fríos. Utiliza férulas y clavos internos, aunque señala como limitación técnica el diseño no anatómico de algunos dispositivos. Subraya que la recuperación mejora si el dispositivo es liviano y estable, y suele adaptar su forma y tamaño para lograr un mejor ajuste. Considera que el confort del animal es fundamental y afecta todo el proceso de recuperación, por lo que prioriza la precisión anatómica al elegir el dispositivo. Reconoce que el costo condiciona las opciones terapéuticas disponibles y sugiere el uso de acrílico médico por su adecuación. Valora la impresión 3D y el escaneo como herramientas viables y prometedoras, y afirma que la ingeniería inversa es clave para desarrollar soluciones localmente. También menciona que la adaptación del animal varía según su peso y forma, lo que resalta la necesidad de un diseño personalizado.</p> | |

| Entrevista Dr. Sergio Vargas | |
|--|--|
| Pregunta | Respuesta |
| 1. Resumen experiencia en fracturas | 12 años, énfasis en razas toy |
| 2. Frecuencia de fracturas de radio y cúbito | 1 caso por mes |
| 3. Dispositivos utilizados y efectividad | Combinación férula-placa |
| 4. Limitaciones técnicas | Tamaño y costo inadecuado |
| 5. Situaciones clave de impacto en recuperación | Cuando permite rehabilitación temprana |
| 6. Problemas de ajuste y soluciones | Rediseño parcial o reemplazo |
| 7. Relevancia del confort animal | Clave para evitar mordidas y rechazo |
| 8. Factores clave al elegir dispositivo | Peso, facilidad de uso, precio |
| 9. Influencia del costo | Decisiva para dueños |
| 10. Materiales recomendados | Plástico termoformado |
| 11. Opinión sobre impresión 3D y escaneo | Vital para futuro veterinario |
| 12. Experiencia con dispositivos locales/artesanales | Sí, pero requieren rediseño |
| 13. Elementos imprescindibles en diseño | Doble ajuste, liviano, rígido |
| 14. Evaluación de adaptación del animal | Buena con diseño personalizado |
| 15. Ingeniería inversa y mejora | Permite diseños anatómicos precisos |
| <p>Análisis: El Dr. Sergio Vargas, con 12 años de experiencia centrada en razas toy, atiende aproximadamente un caso mensual de fracturas de radio y cúbito. Utiliza combinaciones de férulas y placas, pero enfrenta limitaciones relacionadas con el tamaño y el alto costo de los dispositivos. Destaca que una recuperación efectiva ocurre cuando el dispositivo permite una rehabilitación temprana, y frente a problemas de ajuste opta por rediseños parciales o reemplazos. Resalta que el confort es esencial para evitar rechazo o mordidas por parte del animal. Al momento de elegir el dispositivo, considera factores como el peso, la facilidad de uso y el precio, siendo este último decisivo para los propietarios. Recomienda el uso de plástico termoformado por su adaptabilidad y ligereza. Considera la impresión 3D y el escaneo como tecnologías vitales para el futuro veterinario, y aunque ha utilizado dispositivos artesanales, señala que estos requieren rediseño. En el diseño ideal, destaca la importancia de un doble ajuste, rigidez y bajo peso, y subraya que con un diseño personalizado la adaptación del animal mejora significativamente. La ingeniería inversa, según su experiencia, permite lograr dispositivos anatómicamente precisos.</p> | |

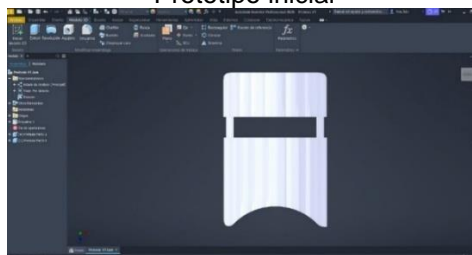
Anexo 2. Primer prototipo

Prototipo inicial



Fuente: elaboración propia

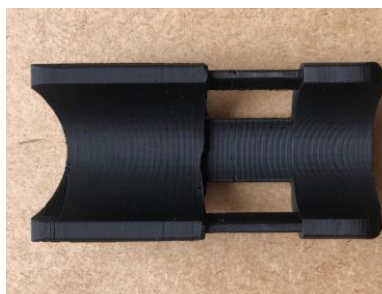
Prototipo inicial



Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

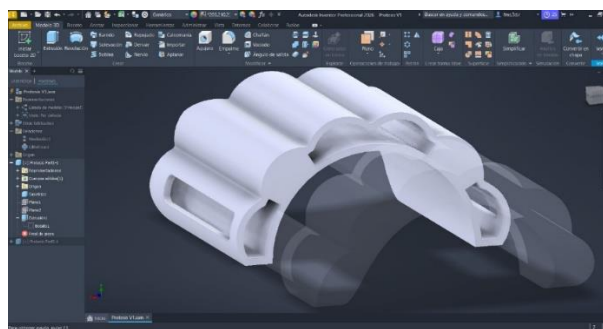


Fuente: elaboración propia

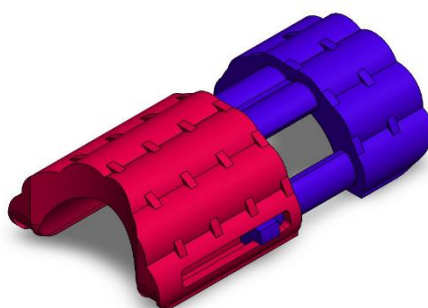


Fuente: elaboración propia

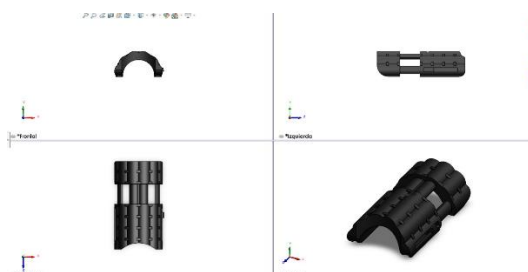
Anexo 3. Prototipo final



Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en Inventor (2025).



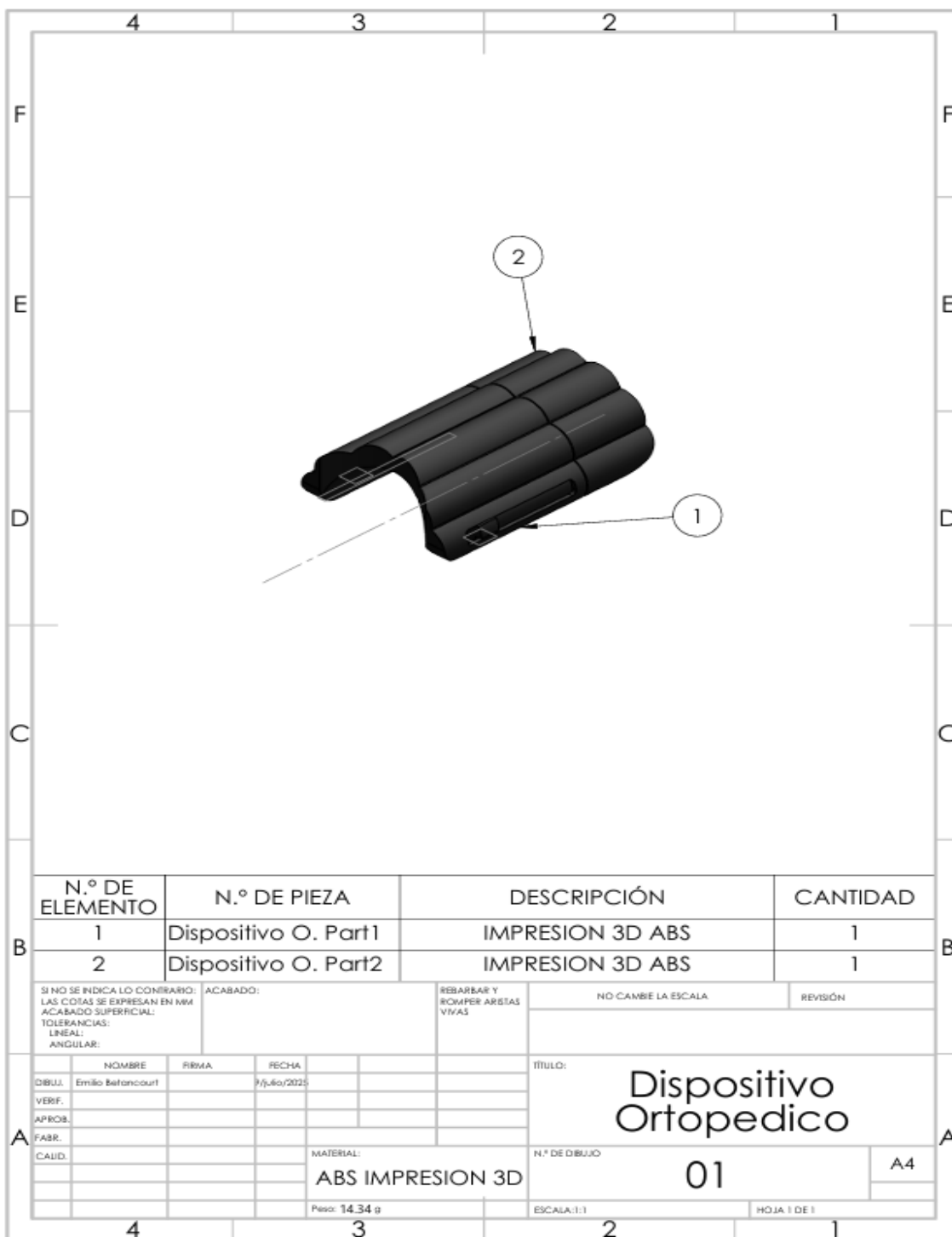
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en Inventor (2025).

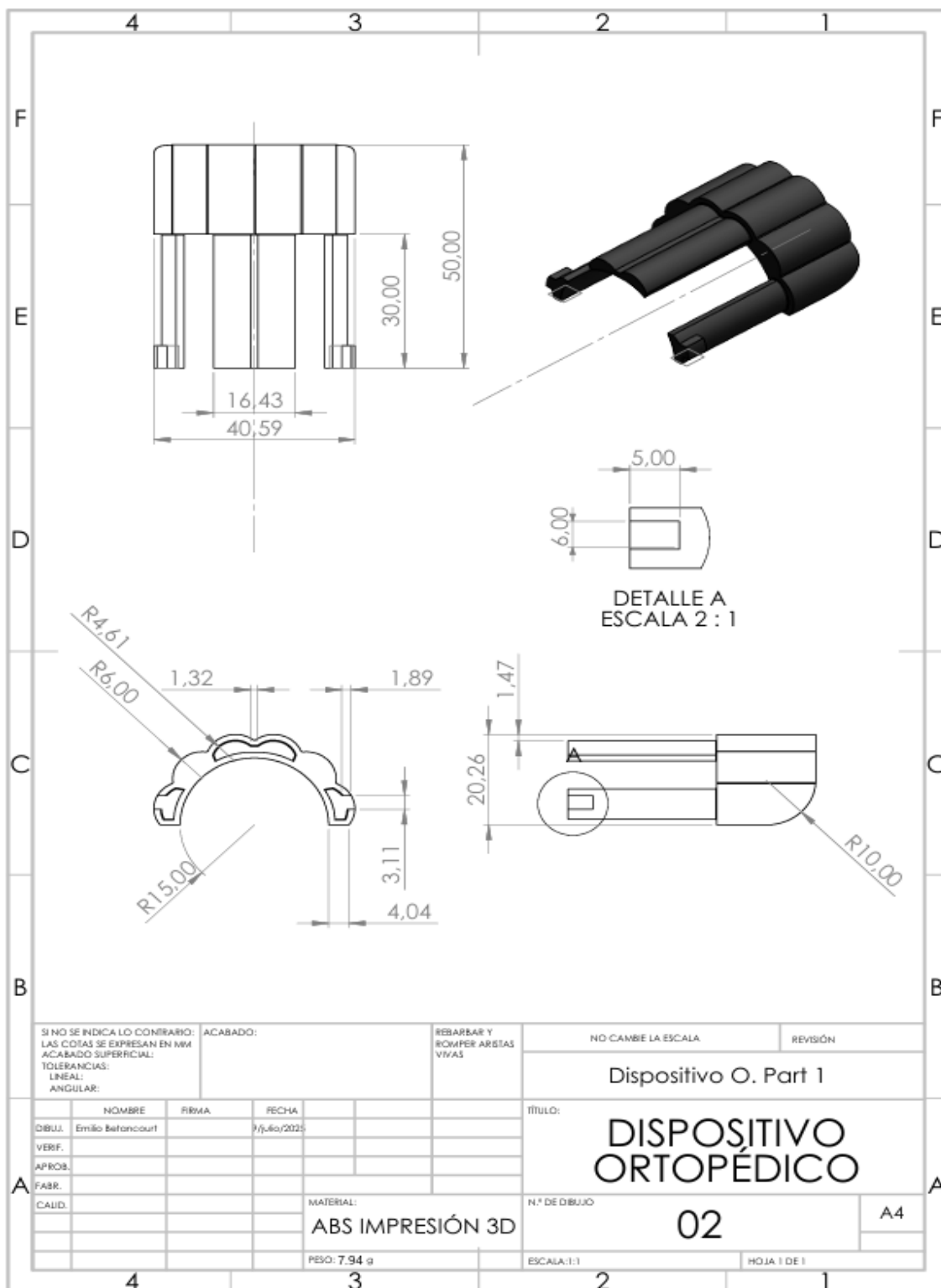


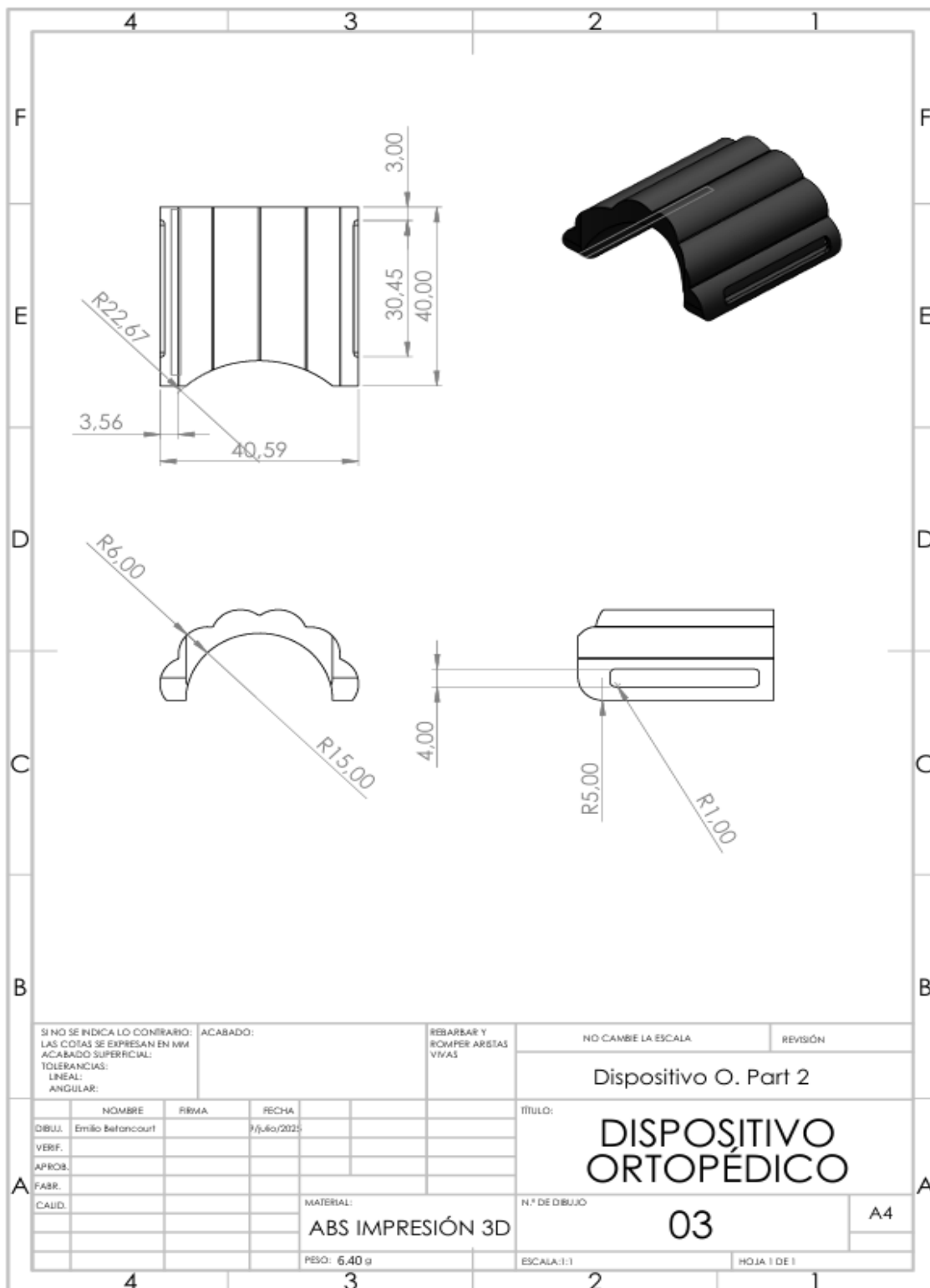
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en Inventor (2025).

Anexo 4. Prototipo final impreso

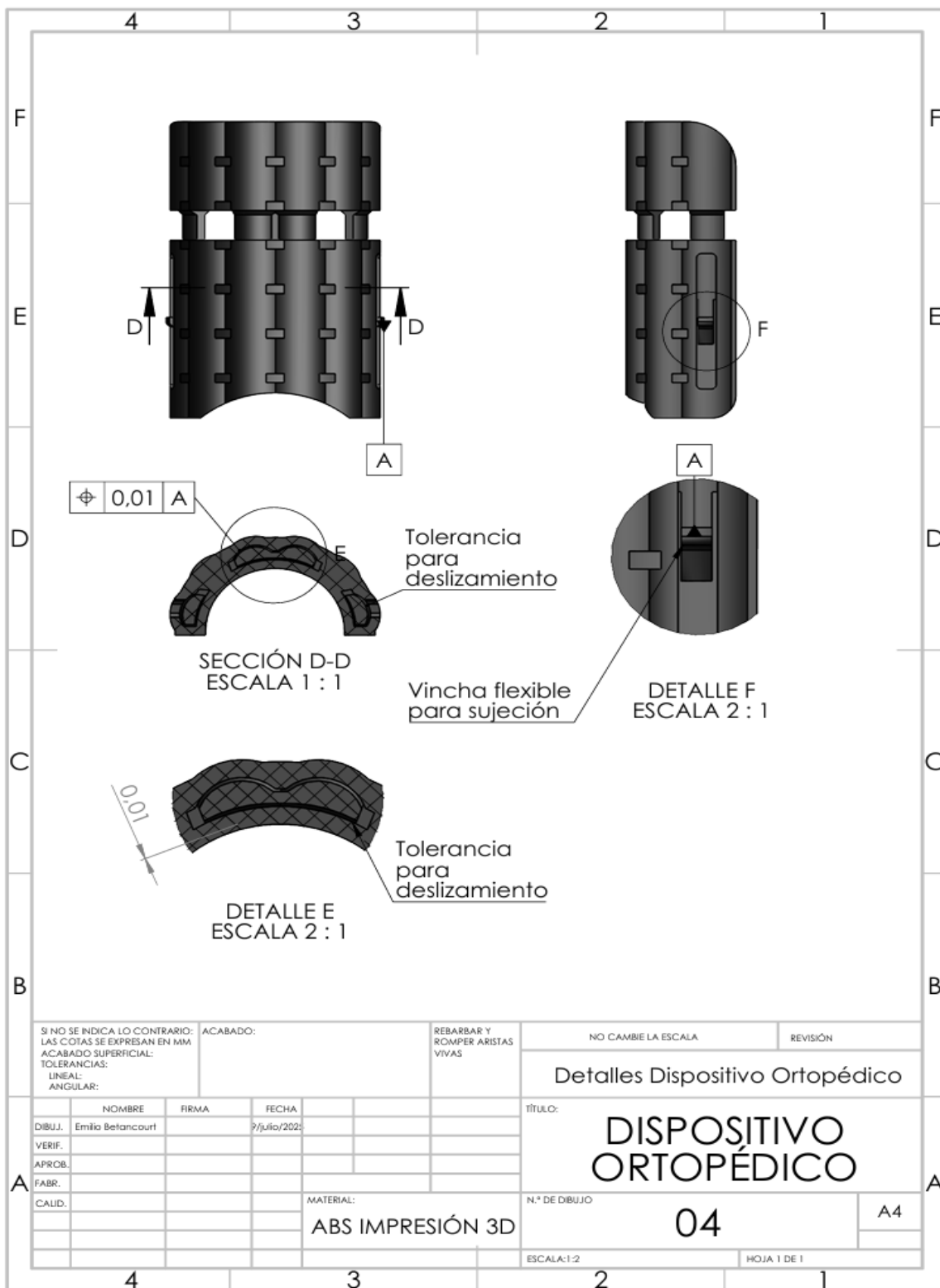
Anexo 5. Planos de los dispositivos







| | | | | | |
|--|--|----------|---------------------------------------|--|----------|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | ACABADO: | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | NO CAMBE LA ESCALA | REVISIÓN |
| | | | | Dispositivo O. Part 2 | |
| | | | | TÍTULO: DISPOSITIVO ORTOPÉDICO | |
| NOMBRE | | FIRMA | FECHA | N.º DE DIBUJO | |
| DIBUJ. Emilio batancourt | | | 7/5-4a/2025 | 03 | |
| VERIF. | | | | A4 | |
| APROB. | | | | MATERIAL: | |
| FABR. | | | | ABS IMPRESIÓN 3D | |
| CAUD. | | | | PESO: 6.40 g | |
| | | | | ESCALA: 1:1 | |
| | | | | HOJA 1 DE 1 | |



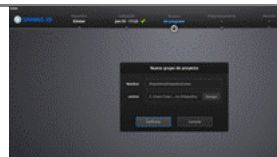
Anexo 6. Proceso de escaneo

Tabla 19. Proceso de escaneo

| Paso | Descripción del Proceso | Imagen Referencial |
|--|---|---|
| 1. Conexión del escáner y preparación del entorno | Se conecta el dispositivo, asegurando su estabilidad y un área libre de obstrucciones para un escaneo preciso. |  |
| 2. Colocación de stickers y ubicación del objeto | Se colocan los stickers del kit en el dispositivo como referencias visuales y se posiciona sobre la base del escáner. |  |
| 3. Verificación de calibración | Se abre la aplicación y se confirma que el escáner esté calibrado (realizado el 11 de junio). |  |

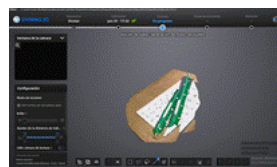
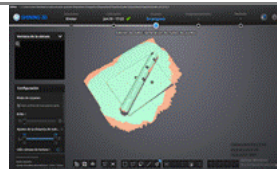
4. Creación del proyecto de escaneo

Se define nombre, ruta de guardado, modo de escaneo (objetos pequeños), tipo de alineación (híbrido) y resolución (alta).



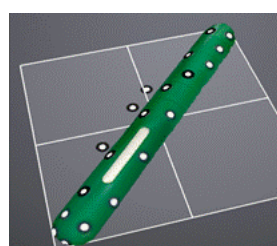
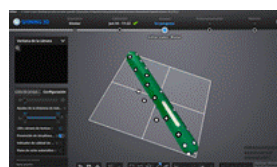
5. Ejecución del escaneo


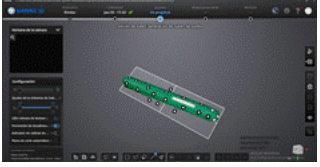
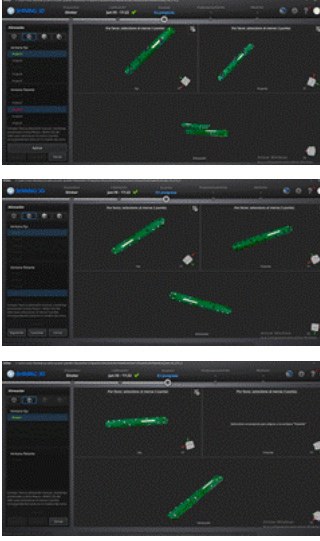
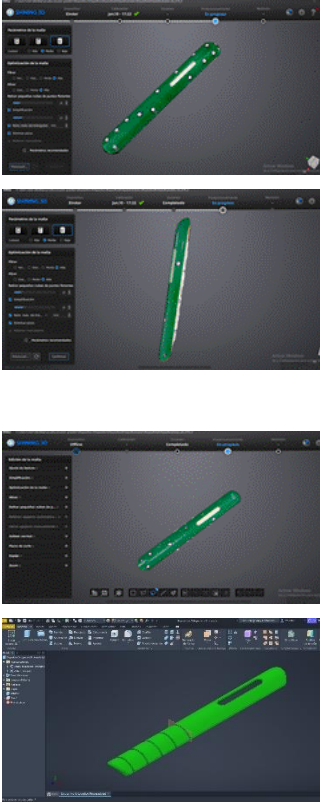
Se realiza el escaneo manteniendo movimientos lentos y precisos. Se evitan errores como escaneo doble o pérdida de referencia.



6. Limpieza del escaneo

Se eliminan elementos no deseados como la base, utilizando herramientas de edición del software.



| | | |
|--|--|---|
| |  | |
| <p>7. Escaneos adicionales desde otras perspectivas</p> | <p>Se repite el proceso de escaneo desde diferentes ángulos para captar todos los detalles.</p> |  |
| <p>8. Unificación de proyectos</p> | <p>Se combinan los distintos escaneos mediante el método manual por puntos seleccionados cuidadosamente.</p> |  |
| <p>9. Optimización de la malla del modelo</p> | <p>Se selecciona la opción de objeto sólido y se configura la malla con un máximo de 5000 triángulos para facilitar su manipulación en diferentes programas.</p> |  |