

**PROTOTIPO MECATRÓNICO DE ACTIVIDADES DE ENTRENAMIENTO DE  
LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA EN ANIMALES CANINOS CON  
TECNOLOGÍA DE REALIMENTACIÓN HÁPTICA.**

**MECHATRONIC PROTOTYPE OF LAPAROSCOPIC SURGERY TRAINING  
ACTIVITIES IN CANINE ANIMALS WITH HAPTIC FEEDBACK  
TECHNOLOGY.**

**Andrés F. Arias Suesca\***, **MSc. Sandra M. Aranguren Zambrano\*\***  
**PhD. Rocco Tarantino Alvarado\*,\*\***

\* **Universidad de Pamplona**, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Semillero de  
Investigación Detección y Diagnostico de Fallos en Sistemas de Automatización Industrial  
SIDDFAI.

Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia.  
+57 313 808 6094

E-mail: andres.arias2@unipamplona.edu.co.

\*\* **Universidad de Pamplona**, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de  
Investigación Automatización y Control (A&C).

Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia.  
+57 316 531 5429

E-mail: sandraranguren@unipamplona.edu.co.

\*\* **Universidad de Pamplona**, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de  
Investigación Automatización y Control (A&C).

Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia.  
+57 315 626 8079

E-mail: rocco.tarantino@unipamplona.edu.co.

**Resumen:** La cirugía laparoscópica como técnica quirúrgica de mínima invasión, requiere el desarrollo de habilidades psicomotrices para la buena implementación en esta práctica, es por eso que se plantea una solución mediante la simulación como herramienta de aprendizaje.

En este trabajo se desarrolla un prototipo mecatrónico de un simulador de entrenamiento utilizando una interfaz Háptica (Novint Falcon) que es un dispositivo bidireccional donde realimenta señales táctiles y propioceptivas a un operador, generando información de sensaciones de relieve y textura de un objeto virtual, de esta manera se desarrollan tres actividades de entrenamiento en el entorno virtual, desarrollando un simulador virtual que cumple con requisitos ergonómicos y de seguridad con el fin de ser utilizado como máquina-herramienta de aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Medicina Veterinaria en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Simulación Avanzada de la Universidad de Pamplona.

**Palabras clave:** Laparoscopia, Simulación, Háptica, Prototipo, Caninos, Entrenamiento.

**Abstract:** Laparoscopic surgery as a minimally invasive surgical technique requires the development of psychomotor skills for good implementation in this practice, that is why a solution is proposed through simulation as a learning tool.

In this work a mechatronic prototype of a training simulator is developed using a Haptic interface (Novint Falcon) which is a bidirectional device where it feeds back tactile and proprioceptive signals to an operator, generating information on the sensations of relief and texture of a virtual object, from In this way, three training activities are developed in the virtual environment, developing a virtual simulator that meets ergonomic and safety requirements in order to be used as a learning machine-tool for students of the Faculty of Veterinary Medicine at the Centro de Research and Technological Development in Advanced Simulation at the University of Pamplona.

**Keywords:** Laparoscopy, Simulation, Haptic, Prototype, Canines, Training

## 1. INTRODUCCIÓN

En la medicina veterinaria se emplea la cirugía laparoscopia como técnica para esterilización, biopsia, criptorquidismo, calculo vesical, extirpación de hernia perineal, nefrectomía, entre otros, siendo de gran ayuda para realizar diagnósticos de un animal antes de realizar intervenciones más complejas sin causar grandes heridas y reduciendo dolores post-operatorios.

Este tipo de cirugía requiere de un desarrollo de habilidades psicomotrices y destrezas diferentes a una cirugía abierta, como la percepción de la profundidad a partir de una imagen plana, destreza bimanual y el manejo de instrumentos y materiales en un espacio restringido. Sin embargo, un cirujano en formación se ve limitado a su entrenamiento debido a que requiere un gran costo instrumental, los periodos de tiempo de entrenamiento son más largos y costosos, además existe una gran limitación legal y ética en el entrenamiento de la cirugía laparoscópica. Es por esto que la simulación nace como una herramienta complementaria de aprendizaje, sin comprometer la seguridad del paciente o someter animales vivos dichas prácticas de entrenamiento.

En el semillero de Investigación Detección y Diagnostico de Fallos en sistemas de Automatización Industrial SIDDFAI de la Universidad de Pamplona, se ha avanzado en este proyecto de interdisciplinario en donde la primera etapa consiste en una aplicación de realidad virtual para simular una técnica de laparoscopia en animales caninos para el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Simulación Medica Avanzada CIDTSA (Nova,2019).

En este artículo se presenta el desarrollo de la segunda etapa en donde se realizó el prototipo

mecatrónico aplicando una interfaz Háptica (Novint Falcon, Fig.1) para recrear un entorno de simulación mucho más real. Comercialmente, existen gran variedad de simuladores médicos, pero el costo de estos es muy elevado, lo que hace difícil el acceso de estos dispositivos a un público en general, por lo que se ve obligado el cirujano en formación a utilizar animales muertos para su entrenamiento, involucrando un costo para el mantenimiento de los cuerpos, además este tipo de procedimientos requieren de una gran destreza por parte del experto, para esto necesita entrenarse constantemente lo que implica un gran lapso de tiempo de entrenamiento, en donde no siempre va estar disponible un equipo o un cuerpo para esta actividad.



*Fig. 1. Dispositivo Háptico Novint Falcón*

En la actualidad la ley colombiana protege muy rigurosamente a los animales. La ley 576 del 2000, expide el código de ética para el ejercicio profesional de la medicina veterinaria y la zootecnia, regulando la práctica profesional dando a los animales un trato humanitario que implica el respeto por todos los seres vivos de la naturaleza. El proyecto de ley 222 de 2013 Senado. En el Artículo 14. Habla que “la utilización de animales

para actividades de enseñanza en instituciones de educación preescolar, básica primaria, secundaria, media y superior. A partir de la promulgación de la presente ley, queda prohibido a profesores y estudiantes de todas las instituciones educativas del país en los niveles preescolar, básica primaria, media y secundaria utilizar animales en sus actividades de enseñanza cuando de ellas se derive maltrato a estos (El Tiempo, 2019).

Se propone entonces a desarrollar un prototipo mecatrónico donde se pueda mejorar el aprendizaje de los estudiantes de medicina veterinaria en el cual compense aquellos factores que limitan el entrenamiento del estudiante, haciendo un simulador flexible, de bajo costo y fácil acceso. Aprovechando que la simulación medica nace como un instrumento complementario al entrenamiento tradicional para la adquisición de habilidad quirúrgicas, permitiendo mejorar el en menor tiempo aprendizaje dentro de un ambiente seguro y controlado.

Con ayuda de la realimentación háptica la interacción entre el estudiante y el simulador hará que el nivel de inmersión en un entorno virtual de entrenamiento sea mucho mejor, de manera que los estudiantes de veterinaria perfeccionen su aprendizaje.

## 2. TÉCNICAS DE LAPAROSCÓPIA EN MEDICINA VETERINARIA Y HABILIDADES DE EVALUACIÓN

Para conocer las especificaciones técnicas del prototipo se realizó una investigación de las técnicas en laparoscopia más usadas o en las que mayor número de casos se presentan, posteriormente se hace una clasificación de dichas técnicas según el tipo de cirugía laparoscopia veterinaria bajo criterios de programas de veterinaria ya creados como lo es VALT<sup>1</sup>, ver Tabla 1.

Dichas técnicas requieren de habilidades que el aprendiz debe desarrollar para llevar a cabo con la práctica de las mismas, como lo son corte, desplazamiento, sutura, disección. En donde cada habilidad se desarrolla mediante diferentes ejercicios como se puede ver en la Tabla 2.

<sup>1</sup> VALT: Programa de entrenamiento en laparoscopia veterinaria, desarrollado por la Universidad Estatal de Washington

*Tabla 1: Técnicas Según el tipo de Laparoscopia*

Tipos De Laparoscopia	Técnicas más usadas en la laparoscopia veterinaria.
Diagnostica	Biopsia Hepática
Pélvica o Ginecológica	Ovarioectomía
Intra-Abdominal	Ovarioectomia en combinación con indicaciones Gastropexia
Urológica	Criptorquidectomía

*Tabla 2: Actividades de Entrenamiento según su habilidad*

HABILIDAD	ACTIVIDAD	DESCRIPCION
<i>Desplazamiento</i> Se encarga del movimiento de objeto , teniendo en cuenta profundidad, fuerza y precisión.	Desplazar Cilindros	Desplazar con la mano dominante un cilindro en un tablero hasta la marcación en otro tablero.
	Cilindros y Stacks.	Desplazar los cilindros sin dejarlos caer, desde un tablero hasta la mitad y luego llevar con la otra mano hasta la marcación del otro tablero
<i>Corte</i> Se encarga de dividir o separar elementos de un cuerpo.	Malla	Consiste en cortar cuatro hilos de color rojo que están en malla sin cortar o reventar.
	Cortar Látex	Consiste en cortar la figura guiada o pintada.
<i>Disección</i> Destreza encargada de la separación de tejidos para exponer los órganos.	Operar un globo	Se trata de cortar un globo por la línea guiada, y extraer los objetos que contiene.
	Vinipel	Consiste en separar la envoltura del objeto en vinipel.
<i>Sutura</i> Habilidad encargada del manejo de la aguja e hilo para anudar las incisiones.	La Balsa	Esta actividad requiere unir 3 objetos anudándolos alrededor.
	Ramo	Consiste en suturar tres dedos de guante de cirugía, atravesándolos por marca indicada.

Para el prototipo mecatrónico se seleccionan tres actividades en donde se van a desarrollar en un entorno virtual, las cuales son Transferencia de Aros, corte en malla y un ejercicio de exploración.

### 3. TECNOLOGÍA HÁPTICA

La háptica es la ciencia y la tecnología de experimentar creando sensaciones táctiles en operadores humanos, para mejorar el rendimiento del operador humano en entornos simulados y teleoperados, las interfaces hápticas buscan generar un atractivo de sensación en que el operador está tocando directamente un objeto real. Las interfaces hápticas intentan replicar o mejorar la experiencia táctil de manipular o percibir un verdadero entorno a través de dispositivos mecatrónicos y una computadora a controlar. Básicamente un dispositivo háptico consiste en un manipulador con sensores, actuadores y una computadora de control con software que relaciona las entradas del operador humano con el sistema háptico de visualización de información. (Siciliano.B, 2008).

#### 3.1 Interfaces Hápticas

Son dispositivos bidireccionales que proporcionan sensaciones de fuerza y/o tacto al operador a través de la misma interfaz con la que envía consignas al sistema remoto, se pueden clasificar en función del tipo de actuadores utilizados, la escala en generación de fuerza, su portabilidad o soporte, pudiendo ser interfaces de escritorio. Se clasifican según su tipo de retroalimentación como se ve en la Fig. 2.

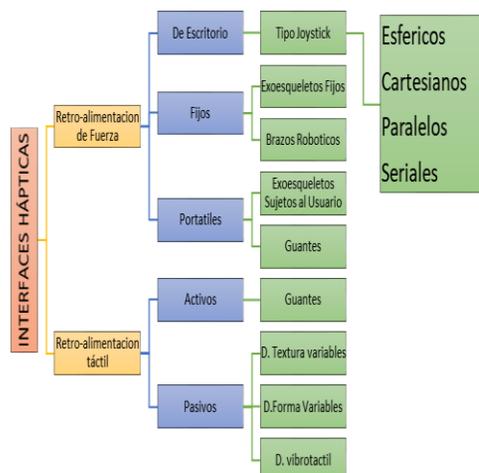


Fig. 2. Clasificación de las Interfaces Hápticas

#### 3.1 Arquitectura de un sistema Háptico

Los elementos que constituyen un sistema de realimentación háptico son básicamente tres: un dispositivo háptico, una computadora donde se procese el ambiente virtual y un operador que cierre el lazo. En la Fig. 3 se observa el diagrama que define un sistema háptico.

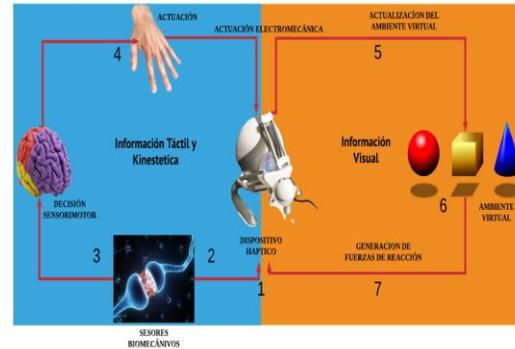


Fig. 3. Arquitectura Háptica

### 4. MATERIALES Y METODOS

El presente proyecto se desarrolla bajo una metodología experimental descriptiva, realizando una recopilación biblio-hemográfica y acompañada de expertos de la clínica de Veterinaria de la Universidad de Pamplona sobre el funcionamiento de los simuladores de entrenamiento y las actividades que allí se realizan de la cirugía laparoscópica.

Con la metodología presentada se plantean varias etapas o componentes representados en la Fig. 4, donde se busca cumplir las especificaciones del simulador las cuales son: Fácil Acceso, Movilidad, Ergonomía, Bajo costo.

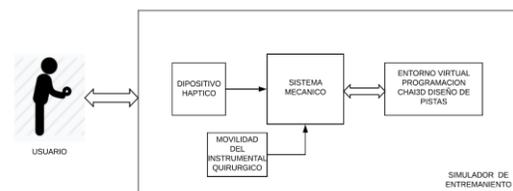


Fig. 4. Componentes del prototipo Laparoscópico

#### 4.1 Sistema Mecánico

Consiste en el cuerpo o estructura del prototipo de simulador, en donde tiene como objetivo permitir incorporar los demás elementos que hacen parte del simulador, como primera medida se realiza una

matriz de diseño conocida como PDS sus siglas “Product Desing Specifications” (Especificaciones del diseño del producto) Tabla. 3. Con la matriz se evalúan varias especificaciones generales, con el fin de buscar los requerimientos y necesidades del prototipo.

Tabla 3: Matriz PDS

ESPECIFICACIÓN	Necesidad	Requerimientos
DESEMPEÑO		
ENTORNO		
MANTENIMIENTO		
COMPETENCIA		
TAMAÑO		
ESTÉTICA Y FORMA		
MATERIALES		
ERGONOMÍA		
SEGURIDAD		

Las dimensiones necesarias para la estructura se obtuvieron realizando un análisis antropométrico, para una población en general tanto hombres como mujeres, ver Fig.5.

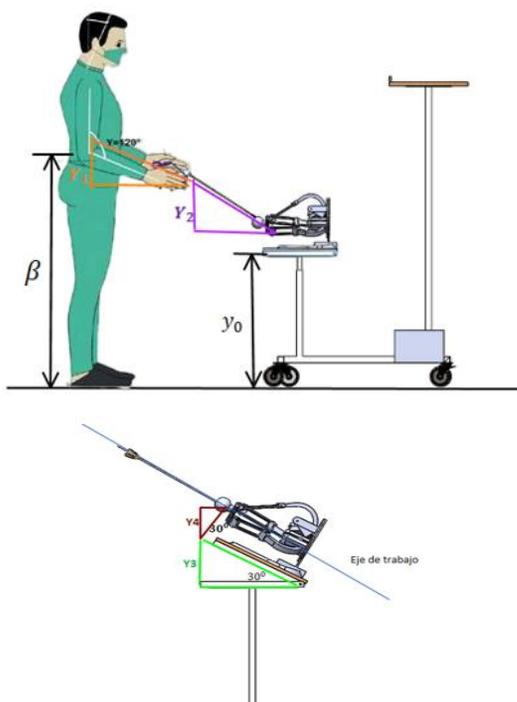


Fig. 5. Análisis antropométrico

Finalmente, con la ayuda de la herramienta SOLIDWORKS se diseña una estructura tipo soporte-mesa, con ruedas auxiliares para garantizar la movilidad del equipo, esta estructura cuenta con

un soporte gradual y abatible debido a que los usuarios tienen medidas antropométricas diferentes además se debe garantizar la ergonomía del equipo que se logra por medio de los soportes. Fig. 6.

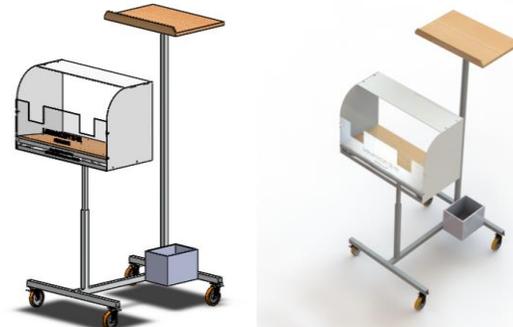


Fig. 6. CAD de la estructura del simulador.

#### 4.1 Entorno virtual

Para el desarrollo del entorno virtual Fig.7 se realiza un proceso que consiste en 3 etapas:

1. **Creación de objetos:** La simulación médica se logra gracias a la capacidad de un entorno virtual convertirse en un escenario parecido a un entorno real, es por eso que este proyecto se crean objetos con la ayuda de la herramienta SOLIDWORKS los objetos son Pistas de entrenamiento, escenario, instrumental quirúrgico.
2. **Renderizado 3D:** Por medio del software Blender se transforma el formato de los objetos creados, en este programa se dan características propias de un objeto 3D como textura, solidez material y espacio.
3. **Renderizado Háptico:** Por último, los objetos son importados a una librería llamada CHAI3D, esta librería es de código abierto la cual permite manipular el dispositivo háptico dentro de un entorno virtual, su editor de texto es VISUAL STUDIO en lenguaje C++.Chai3d permite dar características hápticas, como la percepción de fuerza, profundidad y rigidez.

En el entorno virtual se recrearon las actividades laparoscópicas transferencia de aros, corte y actividad exploratoria en donde se realiza una toma endoscópica. Además, se incorpora en todas las actividades la herramienta o instrumental quirúrgico.

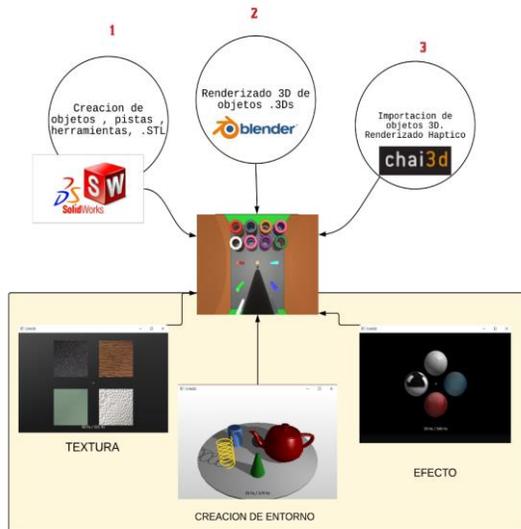


Fig. 7. Entorno Virtual del simulador.

#### 4.1 Dispositivo Háptico “Novint Falcón”

Dispositivo encargado de darle vida al prototipo de simulador, pues gracias a este se recrea la experiencia virtual, el Novint Falcón Fig. 8, consta de una plataforma estacionaria y una plataforma móvil. Las dos plataformas están conectadas por tres eslabones paralelos idénticos, por esta razón podemos decir que el dispositivo háptico Novint falcón es un Robot con morfología DELTA o paralela. (Block y Michelotti, 2013).



Fig. 8. Novint Falcón.

Los tres grados de libertad del Novint, permiten dar movilidad al instrumental quirúrgico acoplado al equipo con los grados de libertad Yaw, Picht, adentro-afuera requeridos como los mínimos grados del prototipo.

#### 4. RESULTADOS

Como resultado final se obtiene la implementación del prototipo, donde se integran todos los elementos, en la Fig. 9 se presenta el diagrama del montaje del prototipo mecatrónico del simulador de entrenamiento de cirugía laparoscópica en animales.

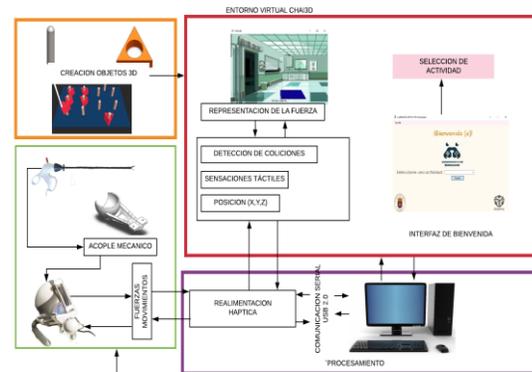


Fig. 9. Diagrama Montaje del simulador.

##### a. Estructura:



[../Users/USUARIO/Downloads/TRABAJO DE GRADO FELIPE ARIAS/Material de Apoyo/subir bajar.mp4](#)

Fig. 10. Estructura del Prototipo de Simulador.

Fabricada en acero laminado de gran resistencia, con acabado de pintura electroestática o pintura de

polvo ideal para la higiene que requiere un equipo médico. Ver Fig. 10.

#### b. Acople de Pinza al dispositivo Háptico

El acople es una parte importante para el funcionamiento de la simulación, pues es la conexión física entre el instrumental manipulado por el usuario y el dispositivo háptico, fabricado en impresión 3D con PLA garantiza la resistencia necesaria que se necesita cuando se está manipulando el equipo. Ver Fig. 11.



Fig. 11. Acople del instrumental

#### c. Actividades de Entrenamiento

Todas las actividades fueron desarrolladas en la librería Chai3D

- ✓ Transferencia de Aros: Consiste en llevar de un lado A a un lado B 6 Aros que se encuentran en el tablero, como se observa en la Fig. 12.

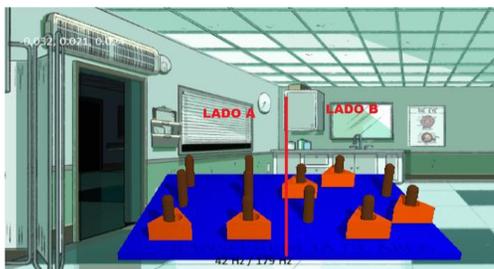


Fig. 12. Transferencia de Aros.

- ✓ Corte: Se trata de lograr seguir e trazo de la figura marcada como se puede ver en la Fig. 13.

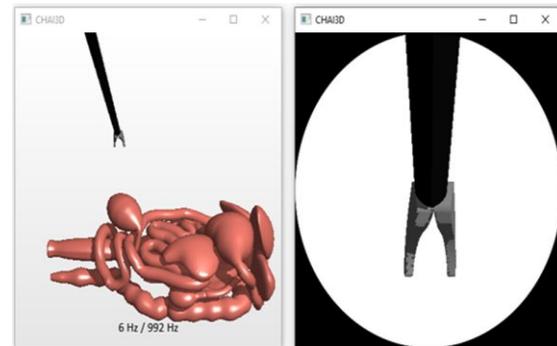


Fig. 13. Actividad de Corte.

- ✓ Actividad de Exploración: En la primera etapa de este proyecto, se diseñó el aparato digestivo de una perra, en esta ocasión se utiliza para mostrar una forma de conseguir una simulación real dentro de un paciente. Ver Fig. 14.

Fig. 14. Actividad Exploratoria.

## 4. CONCLUSIONES



Luego de analizar las diferentes actividades de entrenamiento, a partir de las técnicas de laparoscopia más utilizadas por la cirugía laparoscópica bajo el criterio del programa VALS, se llega a la decisión de tomar la actividad de transferencia de aros y la actividad de corte, como las actividades para incorporar en el entorno virtual del prototipo de entrenamiento, en donde se desarrollan destrezas de profundidad, referencia en el espacio y corte.

En este trabajo de investigación se presenta una mejora en el modelo del prototipo de simulador de entrenamiento basando en dos modelos de simulador laparoscópico realizados previamente a esta investigación, a partir de estudiar dichos modelos se decide incorporar una interfaz háptica, la cual permite realizar una inmersión realista gracias a su capacidad para retroalimentar las señales táctiles, de esta manera el prototipo se clasifica como un simulador virtual para actividades de entrenamiento básicas.

Luego de realizar el estudio y análisis en esta investigación acerca de los dispositivos hápticos, se escoge el NOVINT FALCON mediante una matriz de selección, siendo este el mejor dispositivo para utilizar en el proyecto por que cumple con los requisitos mínimos como lo es movilidad en los tres grados de libertad, además es el más

económico que se consigue en el mercado y contiene buena documentación para su uso.

El desarrollo del prototipo de entrenamiento, abre espacios de investigación y aprendizaje en varias disciplinas observando los problemas que normalmente enfrentan los cirujanos en formación, es por esto que este tipo de proyectos ayuda a cumplir y satisfacer las necesidades frente a los límites que se encuentran en la práctica de la cirugía laparoscópica veterinaria.

### RECONOCIMIENTO

A Jair Nova, quien fue el encargado de desarrollar la primera etapa de Software de este proyecto.

A la profesora M.V Johana Fonseca docente de la escuela de veterinaria de la Universidad de Pamplona, por su tiempo para validar este proyecto.

### REFERENCIAS

- RAMOS, Daniel. SALINAS, Sergio. Simuladores virtuales para entrenamiento de habilidades para laparoscopia. Revista Ingeniería Biomédica, ISSN 1909-9762, Vol. 10, 2016. Universidad EIA, Universidad CES.
- VASSILIOU, Melina. Et al. FLS and FES: Comprehensive models of training and Assessment. Surg Clin N Am 90, 2010, 535-558. McGill.
- BETANCURT, Julio. TOLOZA, Miller. ARCILA, Victor. Técnica invasiva designada a la laparoscopia exploratoria de la cavidad abdominal en la especie canina. Revista Spei Domus, 2005.
- WORMSER Chole, RUNGE, Jeffrey. Advances in Laparoscopic Surgery. Vet Clin Small Anim, 2015.
- BARRERA, Camilo. Et al. Sistema de evaluación de habilidades psicomotrices en cirujanos de laparoscopia. Rev Cienci Salud 2016.
- AVILA, Rosalio. PRADO, Lilia. GONZÁLEZ, Elvia. Dimensiones antropométricas de población latinoamericana. ISBN 978-970-27-1193-3, Segunda Edición, 2007.
- FRANSSON, Boel. The future taking veterinary laparoscopy to the next level. Journal of Feline medicine and surgery, 2014.
- PÉREZ, Francisco. Et al. Ergonomía en cirugía laparoscópica y su importancia en la formación quirúrgica. Cirugía Española, El servier doyma, 2011.
- Botchorishvili R., Et al. Coelioscopie et coeliochirurgie: principes généraux et instrumentation. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Techniques chirurgicales - Gynécologie, 41-515-A, 2007.
- LEVIS, Diego. ¿Qué es la realidad virtual?.2006
- KER, Jean. BRADLEY, Paul. Simulation in medical education. Association for the study of medical Education, 2010.
- RUIZ, Eduardo. Simulador laparoscópico de realidad virtual para el entrenamiento de habilidades psicomotrices de los cirujanos. Universidad Autónoma de Mexico, Cd.MX,2018.
- BLOCK, Daniel. MICHELOTTI, Mark. Application of the Novint Falcon haptic device as an actuator in real-time control. Versita , Paladyn Journal of Behavioral Robotics,2013.
- MARTIN, Steven. HILLIER, Nick. Characterisation of the Novint Falcon Haptic Device for Application as A Robot Manipulador. Australasian Conference on Robotics And Automation, 2009.
- HWANG, Jihee. CHEN, Cheng. Falcon city: An integration of Novint Falcon in virtual Reality. Stanford EE 267.
- PINTO, María. Tesis de maestría Análisis e implementación de una interfaz háptica en entornos virtuales. Universidad Nacional, Bogotá D.C. 2009.
- PINTO, María. SOFRONY, Jorge. Definición y selección de una interfaz háptica para aplicaciones preliminares de asistencia Quirúrgica. Universidad Nacional, Bogotá D.C. 2009.
- NOVA, Jair. Diseño de una aplicación de realidad virtual para simular una técnica de laparoscopia en animales caninos el centro de investigación y desarrollo tecnológico en simulación medica avanzada de la universidad de pamplona. Universidad De Pamplona,2019.
- MORENO, Tania. Diseño y construcción de un prototipo de simulador con realidad virtual para cirugía laparoscópica. Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. México, 2017.
- LOAIZA, Paola. VEGA, Manuel. Simulador tridimensional para el desarrollo de habilidad de transferencia de aros para cirugía laparoscópica usando una interfaz háptica: "SILAPH 3D". Universidad Pontificia Bolivariana, Floridablanca, 2012.

PÉREZ, Jesús. Diseño y manufactura de un prototipo de dispositivo háptico. Instituto Politécnico Nacional. Mexico, 2012.

RODRIGUEZ, Iván. CASTRO, Daniel. El robot paralelo Novint Falcón como plataforma experimental Háptica. UNAM, C.d Mexico. 2017.