



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL  
SOBRE UNA ADAPTACIÓN DE ORTESIS VETERINARIA PARA LA  
REHABILITACIÓN DE RODILLA EN CANINOS DE LA FUNDACIÓN  
PAE**

**AUTOR: NACEVILLA CACHAGO, MIREYA PATRICIA**

**DIRECTOR: ING. ERAZO SOSA, ANDRÉS SEBASTIÁN M.Sc.**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL SOBRE UNA ADAPTACIÓN DE ORTESIS VETERINARIA PARA LA REHABILITACIÓN DE RODILLA EN CANINOS DE LA FUNDACIÓN PAE” fue realizado por la señorita MIREYA PATRICIA NACEVILLA CACHAGO, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizando por la herramienta de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Agosto del 2018

---

ING. ANDRÉS ERAZO

C.C: 1720400082



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, MIREYA PATRICIA NACEVILLA CACHAGO, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL SOBRE UNA ADAPTACIÓN DE ORTESIS VETERINARIA PARA LA REHABILITACIÓN DE RODILLA EN CANINOS DE LA FUNDACIÓN PAE” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, Agosto del 2018

---

Mireya Patricia Nacevilla Cachago

C.C: 1721622833



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, MIREYA PATRICIA NACEVILLA CACHAGO, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL SOBRE UNA ADAPTACIÓN DE ORTESIS VETERINARIA PARA LA REHABILITACIÓN DE RODILLA EN CANINOS DE LA FUNDACIÓN PAE” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, Agosto del 2018

---

Mireya Patricia Nacevilla Cachago

C.C: 1721622833

## **DEDICATORIA**

A mis padres Patricio Nacevilla y Soraya Cachago y hermana Pamela Nacevilla por todo el gran esfuerzo que han realizado para que yo pueda terminar mi carrera universitaria, por haber estado cerca de mí apoyándome y han seguido cada proceso de mi vida, sin su apoyo incondicional no hubiera logrado este objetivo.

Mireya Nacevilla

## AGRADECIMIENTO

Agradecimiento total a Dios, quien me ha dado fuerza para vencer cada obstáculo presente y ha guiado mi camino hasta esta meta, eternamente gracias

A mis padres por haber fomentado en mí el esfuerzo que se debe realizar para cumplir los objetivos, por todo el amor y enseñanzas brindadas

A mi hermana quien ha estado para escucharme y animarme.

A toda mi familia, que siempre han estado dispuestos a ayudarme sin esperar nada a cambio, gracias por sus enseñanzas

A mi Director de Tesis, Ing. Andrés Erazo quien me ha guiado en la elaboración de mi trabajo de titulación, gracias

A mis compañeros de la carrera, con quienes he compartido momentos agradables, agradezco su sinceridad y ayuda siempre que la he necesitado, gracias a quienes aportaron con sus conocimientos para solucionar algunos problemas presentes en mi trabajo de titulación.

Mireya Nacevilla

## TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
TABLA DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e Importancia.....	5
1.3 Alcance .....	6
1.4 Objetivos.....	10
1.4.1 Objetivo General .....	10
1.4.2 Objetivos Específicos.....	10
CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	11
2.1 Sistema de Control Difuso.....	11
2.1.1 Etapas de la Lógica Difusa.....	11
2.2 Rehabilitación y fisioterapia canina.....	12
2.2.1 Fines de la rehabilitación y fisioterapia. ....	12
2.2.2 Indicaciones para aplicar la rehabilitación y fisioterapia.....	13

2.3	Ortesis veterinaria.....	13
2.4	Cinesiterapia pasiva .....	14
2.5	Rango de movimiento pasivo (PROM) .....	14
2.6	Manera de realizar movimientos de flexión y extensión .....	14
CAPÍTULO III .....		16
IMPLEMENTACIÓN DE LA ORTESIS VETERINARIA .....		16
3.1	Datos característicos del canino.....	16
3.1.1	Angulaciones y longitud: .....	16
3.1.2	Cálculo del peso corporal canino .....	17
3.2	Modelo de ortesis.....	18
3.3	Planificación de movimientos .....	20
CAPÍTULO IV .....		27
DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL .....		27
4.1	Parámetros .....	27
4.1.1	Momentos de inercia y centros de gravedad.....	27
4.1.2	Simulación del sistema .....	29
4.1.3	Torque .....	30
4.1.4	Velocidad .....	31
4.2	Elementos Electrónicos .....	31
4.2.1	Actuador.....	31
4.2.3	Sensor de corriente.....	33
4.2.5	Módulo bluetooth.....	35
4.3	Sistema de control difuso .....	36
4.3.1	Driver DRV8838.....	37

4.3.2	Motor de corriente continua.....	39
4.3.3	Decodificación del signo.....	41
4.4	Diseño del controlador difuso.....	42
4.4.1	Definición de variables .....	42
4.4.2	Fusificación de la entrada error de posición. ....	43
4.4.3	Inferencia .....	47
4.4.4	Defusificación.....	48
4.5	Algoritmo de Control.....	50
CAPÍTULO V .....		54
DESARROLLO DE LA INTERFAZ DE USUARIO .....		54
5.1	Comunicación bluetooth.....	59
5.2	Base de datos SQLite.....	60
CAPÍTULO VI.....		63
PRUEBAS Y RESULTADOS .....		63
6.1	Pruebas y Resultados del Controlador Difuso .....	63
6.1.1	Sistema en lazo cerrado.....	63
6.1.2	Respuesta del Sistema.....	64
6.2	Resultados del Sistema Mecánico .....	70
6.3	Pruebas y Resultados del Sistema de Comunicación y Aplicación Android.....	70
6.3.1	Análisis de Resultados .....	76
CAPÍTULO VII.....		78
CONCLUSIONES .....		78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		80

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Datos característicos del canino</i> .....	16
<b>Tabla 2.</b> <i>Peso aproximado de las zonas del miembro posterior canino</i> .....	18
<b>Tabla 3</b> <i>Características de Caerus CCL Stifle(Knee) Brace (Animal Orho Care,2018)</i> .....	19
<b>Tabla 4</b> <i>Medición de ángulo de flexión máximo</i> .....	22
<b>Tabla 5</b> <i>Medición del ángulo de extensión máxima</i> .....	23
<b>Tabla 6</b> <i>Momento de Inercia y centro de gravedad</i> .....	29
<b>Tabla 7</b> <i>Características técnicas del sensor ASC712</i> .....	34
<b>Tabla 8</b> <i>Características técnicas Teensy 3.2 (Adafruit,2005)</i> .....	36
<b>Tabla 9</b> <i>Tabla de verdad del funcionamiento del DRV8838</i> .....	38
<b>Tabla 10</b> <i>Tabla de comportamiento de falla del puente H</i> .....	39
<b>Tabla 11</b> <i>Sentido de giro en función de los estados de las señales A y B</i> .....	41
<b>Tabla 12</b> <i>Base de reglas aplicadas al sistema</i> .....	47
<b>Tabla 13</b> <i>Parámetros de respuesta al sistema con carga</i> .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

x

<b>Figura 1.</b> Ortesis veterinaria / rodilla / articulada .....	7
<b>Figura 2.</b> Diagrama esquemático del funcionamiento.....	8
<b>Figura 3.</b> Sistema de Control Difuso.....	12
<b>Figura 4.</b> Movimientos de flexión y extensión.....	15
<b>Figura 5.</b> Angulaciones y longitud de las extremidades posteriores caninas .....	17
<b>Figura 6.</b> Porcentaje aproximado del peso de las zonas del miembro posterior canino.....	17
<b>Figura 7.</b> Ortesis veterinaria Caerus CCL Stifle (Knee) Brace .....	19
<b>Figura 8.</b> Gama de bisagras .....	20
<b>Figura 9.</b> Rango de movilidad de la rodilla.....	21
<b>Figura 10.</b> Esquema gráfico del rango de posición angular del sistema .....	21
<b>Figura 11</b> Dimensiones de la gama de bisagras de la ortesis .....	23
<b>Figura 12</b> Piezas de acople realizadas en Solidworks en vista trimétrica .....	24
<b>Figura 13</b> Dimensiones de la pieza de acople .....	24
<b>Figura 14</b> Pieza de acople impresa en 3D .....	25
<b>Figura 15</b> Medición de lados de la pieza de acople y gama de bisagras .....	25
<b>Figura 16</b> Implementación de ortesis con pieza de acople.....	26
<b>Figura 17.</b> Representación de los segmentos de la extremidad posterior en Working Model .....	28
<b>Figura 18.</b> Valores de centro de gravedad y momento de inercia.....	28
<b>Figura 19.</b> Diagrama de bloques de la extremidad posterior canina .....	29
<b>Figura 20.</b> Torque máximo del sistema.....	30
<b>Figura 21</b> Velocidad del actuador .....	31
<b>Figura 22</b> Motorreductor Micro Metal 1000:1 MP 6V con eje extendido.....	32
<b>Figura 23</b> Encoder magnético .....	33
<b>Figura 24</b> Sensor de corriente ASC712.....	34
<b>Figura 25</b> DRV8838.....	35
<b>Figura 26</b> Módulo Bluetooth HC-06 .....	35
<b>Figura 27</b> Teensy 3.2.....	36
<b>Figura 28</b> Sistema de control difuso.....	37
<b>Figura 29.</b> Diagrama de bloques funcional del DRV8838.....	38

<b>Figura 30.</b> Transistor FET de canal N.....	39
<b>Figura 31.</b> Salidas Ay B en cuadratura de un encoder magnético.....	40
<b>Figura 32.</b> Señales A y B de un encoder de cuadratura .....	40
<b>Figura 33.</b> Esquema gráfico del sentido de giro del eje de un motor .....	41
<b>Figura 34.</b> Conjunto difuso triangular .....	44
<b>Figura 35.</b> Entrada difusa al controlador difuso de posición.....	46
<b>Figura 36.</b> Salida Difusa del controlador difuso de posición .....	47
<b>Figura 37.</b> Valor de membresía para una entrada de 10° .....	48
<b>Figura 38.</b> Asignación de valor de membresía.....	49
<b>Figura 39.</b> Centroide en la salida con entrada de 10°.....	49
<b>Figura 40.</b> Diagrama de Flujo del programa .....	51
<b>Figura 41.</b> Interfaz de Android Studio .....	54
<b>Figura 42.</b> Estructura de la Aplicación en Android.....	54
<b>Figura 43.</b> Distribución de pantallas .....	55
<b>Figura 44.</b> Ventana realiza con la distribución de pantalla .....	56
<b>Figura 45.</b> Pantalla Principal .....	56
<b>Figura 46.</b> Pantalla para el registro de usuarios .....	57
<b>Figura 47</b> Pantalla para la visualización de información y rutinas .....	58
<b>Figura 48</b> Pantalla para la selección de rutinas de rehabilitación .....	58
<b>Figura 49</b> Permisos para usar las funciones de bluetooth .....	60
<b>Figura 50</b> Creación de la base de datos "tabla de usuarios" .....	60
<b>Figura 51</b> Creación de la tabla "usuario" en la clase Utilidades .....	61
<b>Figura 52</b> Clase para leer y escribir en la base de datos "usuario".....	62
<b>Figura 53</b> Visualización de datos almacenados en la base de datos SQLite .....	62
<b>Figura 54</b> Respuesta del sistema de control para 110° .....	65
<b>Figura 55</b> Respuesta del sistema de control para 120° .....	66
<b>Figura 56</b> Respuesta del sistema de control para 90° .....	66
<b>Figura 57</b> Respuesta del sistema de control a 80° .....	67
<b>Figura 58</b> Respuesta del sistema a los parámetros de rutinas de rehabilitación.....	68

<b>Figura 59</b> Movimientos de extensión.....	69
<b>Figura 60</b> Movimientos de flexión.....	69
<b>Figura 61</b> Respuestas a la encuesta N°1.....	71
<b>Figura 62</b> Respuestas a la Encuesta N°2.....	71
<b>Figura 63</b> Respuestas a la Encuesta N°3.....	72
<b>Figura 64</b> Respuestas a la Encuesta N°4.....	72
<b>Figura 65</b> Respuestas a la Encuesta N°5.....	73
<b>Figura 66</b> Respuestas a la Encuesta N°6.....	73
<b>Figura 67</b> Respuestas a la Encuesta N°7.....	74
<b>Figura 68</b> Respuestas a la Encuesta N°8.....	74
<b>Figura 69</b> Respuestas a la Encuesta N°9.....	75
<b>Figura 70</b> Respuestas a la Encuesta N°10.....	75
<b>Figura 71</b> Resultado a las preguntas 1 y 2.....	76
<b>Figura 72</b> Resultado a las preguntas 3 y 4.....	76
<b>Figura 73</b> Resultado a las preguntas 5 y 6.....	77
<b>Figura 74</b> Resultado a las preguntas 7 y 8.....	77
<b>Figura 75</b> Resultado a las preguntas 9 y 10.....	77

## RESUMEN

En este proyecto de investigación se presenta el diseño e implementación de un controlador de posición difuso, aplicado a una ortesis veterinaria para rehabilitación de rodilla canina, para alcanzar este fin fue de vital importancia determinar los conjuntos difusos de entrada y salida de acuerdo al comportamiento y requerimientos del sistema, la selección de los sensores y actuadores adecuados y la comunicación inalámbrica entre la interfaz de usuario de fácil uso y el microcontrolador. Se realizaron pruebas de funcionamiento del prototipo, obteniendo una respuesta aceptable de acuerdo al error de posición obtenido leyendo los valores de ángulo en instantes de tiempo y representándolo de manera gráfica para apreciar su valor de error y también mediante la lectura de posición con un goniómetro.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CONTROLADOR DIFUSO**
- **POSICIÓN ANGULAR**
- **FISIOTERAPIA**
- **ORTESIS VETERINARIA.**

## **ABSTRACT**

This research project presents the design and implementation of a diffuse position controller, applied to a veterinary orthosis for the rehabilitation of canine knee. To achieve this purpose, it was vitally important to determine the diffuse sets of inputs and outputs according to system behavior and requirements, the selection of suitable sensors and actuators and the selection of communication between user-friendly interface and microcontroller. Prototype performance tests were carried out, obtaining an acceptable response according to the position error obtained by reading the angle values in determined periods of time and by representing them in a graphical way to appreciate their error value according to a physical position measured by a goniometer.

### **KEYWORDS:**

- **FUZZY CONTROLLER**
- **ANGULAR POSITION**
- **PHYSIOTHERAPY**
- **ORTHOTICS VETERINARY.**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

En el año 1999, en EE.UU., se celebró el primer Congreso Internacional de Fisioterapia y Rehabilitación en Medicina Veterinaria, y actualmente existen organizaciones profesionales y enseñanzas regladas en este ámbito en naciones como EE.UU., Australia, Canadá, Alemania, Finlandia, Holanda, Reino Unido y Francia (Garza, 2016).

Los resultados observados en medicina humana tras rehabilitación por medio de fisioterapia ya sea en pacientes que han sido intervenidos quirúrgicamente como tratamiento post-operativo o tratamiento específico, han hecho considerar las posibilidades de implementar esta técnica en animales, y desde hace algunos años se ha estado modificando y desarrollando técnicas de fisioterapia en humanos, para adaptarlas a la medicina veterinaria (Bodero y Figueroa, 2011).

Las técnicas que se han utilizado habitualmente en fisioterapia son la crioterapia, termoterapia, masoterapia, electroterapia y la cinesiterapia. Para las diferentes patologías que presentan los caninos, es importante y necesario realizar un protocolo de rehabilitación el cual se base en el tipo de lesión y estructuras anexas involucradas, así como un previo examen del paciente, estableciendo los tiempos destinados a cada técnica utilizada en un periodo de tiempo específico (Lafuente, 2011).

Actualmente se han realizado diferentes trabajos de titulación, de rehabilitación canina a través de fisioterapia, que involucran la técnica de cinesiterapia pasiva y consideran el rango de movimiento pasivo (PROM-Passive Range of Motion). Como base para el desarrollo de

este proyecto, primero se definirán cada uno de estos términos y después se mostrarán los trabajos realizados.

El rango de movimiento pasivo (PROM) se refiere al movimiento complejo que puede realizar una articulación, es la manipulación artificial de una articulación para aumentar la flexibilidad articular y la extensión de los tejidos blandos (Franco, 2015). Además, constituye un conjunto de ejercicios terapéuticos pasivos como extensión/flexión para mejorar la salud de las articulaciones y los músculos. (Fossum, 2009).

Mercado M., Gambarotta M., González S y Pallares C. realizaron una investigación titulada “Utilidad de la goniometría en la evaluación del rango de los movimientos de flexión y extensión de la articulación del codo canino”, tras la aplicación de tratamiento en pacientes caninos con diagnóstico de luxación traumática de codo. En sus resultados comprobaron la rehabilitación de los caninos por medio de la goniometría, y determinaron que este es un método fiable y objetivo para determinar rango de movilidad articular. Es decir que además de ayudar al médico a diagnosticar la pérdida funcional del paciente, proporciona un criterio objetivo para determinar la eficacia de la rehabilitación (Mercado, Gambarotta, González, Pallares, 2008).

Bodero D. y Figueroa P. realizaron un proyecto de titulación con el nombre de “Rehabilitación mediante fisioterapia para pacientes caninos con síndrome neuropático tratado en la Universidad de Las Américas”. Uno de los síntomas del síndrome neuropático es la debilidad y atrofia muscular, y se menciona que para empezar la fisioterapia es necesario tener conocimientos y evaluar al paciente determinando su dolencia, por medio de un diagnóstico Zookinesico. Las técnicas de fisioterapia aplicadas mostraron una mejoría en PROM, ganancia muscular y disminución del dolor (Bodero y Figueroa, 2011).

Fossum en su libro titulado “Cirugía en pequeños animales” muestra una manera de aplicar la técnica de cinesiterapia pasiva, de la siguiente manera: colocar las manos encima y debajo de la articulación y flexionar y extender la articulación suavemente mientras sujeta la extremidad. Manipular la articulación a través de un PROM no doloroso. Extender y flexionar lentamente la articulación más allá del PROM indoloro para estirar el tejido. No forzar el movimiento si resulta molesto para el paciente. Mantener el estiramiento durante 15-30 segundos. Volver a colocar la articulación en su posición normal. Repetir el estiramiento hasta 20 veces por sesión. Trabajar con todas las articulaciones de la extremidad afectada para obtener el máximo beneficio (Fossum, 2009).

También menciona que, durante los ejercicios terapéuticos, los pacientes deben tener períodos de descanso por lo que la fatiga no limita su valor. Inicialmente, 10-15 repeticiones pueden realizarse 3-5 veces al día, con una intensidad de ejercicio cada vez mayor y la asistencia prestada por el clínico disminuyendo durante la recuperación del paciente (Fossum, 2009).

A continuación, se presentan los antecedentes sobre PAE y la manera en que ha venido realizando la rehabilitación de rodilla en caninos:

La fundación Protección Animal Ecuador, PAE, se fundó y legalizó en Quito el 3 de agosto de 1984 ante el Ministerio de Inclusión Social y Económica bajo la figura original de asociación y posteriormente reformada a fundación el 2 de marzo de 2005 con Acuerdo Ministerial # 4883, como una entidad apolítica, arreligiosa, con personería jurídica, de derecho privado y sin fines de lucro, fundada para la defensa y protección de los animales (Protección Animal Ecuador, nd).

Dentro de la misión que tiene PAE se encuentra la de promover la protección y el bienestar de los animales, cuenta con Clínicas veterinarias para prestar servicios como consultas médicas, tratamientos, cirugías, rehabilitación, entre otros, estas clínicas constituyen la principal fuente de

ingresos para la obra social que la fundación realiza en favor de animales abandonados y maltratados y aquellos pertenecientes a familias de bajos recursos (Protección Animal Ecuador, nd).

En PAE, la rehabilitación de rodilla canina mediante la técnica de cinesiterapia pasiva se ha realizado únicamente de modo manual, sosteniendo la articulación de la rodilla con las manos y flexionando y extendiendo suavemente mientras sujeta la extremidad, no forzando los movimientos para evitar daños en los músculos y articulaciones y considerando el límite del rango de movimientos que puede realizar la articulación de la rodilla (Bodero, 2017).

A continuación, se presentan estudios realizados sobre prototipos destinados a la rehabilitación automatizada, incluyendo la rodilla humana, como base investigativa para el desarrollo del presente proyecto, en donde estos estudios puedan ser implementados y adaptados en caninos:

- M. Romero presentó un proyecto de tesis titulada “Diseño y construcción de una ortesis de rodilla, destinada a la rehabilitación automatizada de la extremidad inferior”, en esta se diseñó una ortesis que se asemeja a la estructura de la articulación y que asiste al movimiento de la extremidad, este estudio realizó un análisis biomecánico de la cinemática de la rodilla y permite automatizar el proceso de rehabilitación de la articulación de la rodilla mediante un sistema de control basado en lógica difusa (Romero, 2012).
- R. Gutiérrez, presentó un artículo titulado “Exoesqueleto mecatrónico para rehabilitación motora”, propusieron un exoesqueleto mecatrónico para rehabilitación motora, que se basa en la repetición de movimientos programados o movimientos aprendidos a través del control difuso. Este exoesqueleto cuenta con tres GDL y se controla a través de una interfaz de usuario en la cual programan las trayectorias deseadas por el médico, en el diseño de la base de datos se utilizó una base de datos SQL (Gutiérrez, Niño, Avilés, Vanegas y Duque, 2007).

- S. Cortés y A. Duarte presenta un trabajo de titulación llamado “ Ortesis activa para la rehabilitación de lesión medular de miembro inferior”, el diseño del prototipo robótico realizado, tiene la capacidad de aplicar fuerzas estáticas para la estabilización de la rodilla, este diseño permite aplicar diferentes estrategias de control para la articulación de la rodilla en movimientos de flexo-extensión, para la fuerza de interacción entre la ortesis y el miembro inferior, el dispositivo consta de actuadores eléctricos, y para la obtención de parámetros dinámicos como posición, velocidad y aceleración se utilizan sensores analógicos (Cortés y Duarte, 2013).

## **1.2 Justificación e Importancia**

De acuerdo al Reglamento Nacional de Tenencia de Perros en el que se rige PAE, Art.3 literal c, sobre las obligaciones de todo propietario, tenedor y guía de perros, señala que deben Otorgar las condiciones de vida adecuadas y un hábitat dentro de un entorno saludable (Secretaría General, Ministerio de Salud, 2009). Y El Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021, Objetivo 5, sobre Impulsar la Productividad y Competitividad para el Crecimiento Económico Sustentable de Manera Redistributiva y Solidaria, en su Política 5.3., señala como objetivo Promover la investigación, la formación, la capacidad, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, en articulación con las necesidades sociales, para impulsar el cambio de la matriz productiva (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Semplades, 2017).

Se considera importante aportar con conocimientos académicos y utilizar el avance tecnológico en el desarrollo de dispositivos robóticos que permitan cubrir las necesidades sociales referente a los animales, por tal motivo el desarrollo un prototipo electrónico que apoye a la rehabilitación de pacientes caninos a través de las terapias, que permitan al paciente canino la recuperación de la

funcionalidad de articulaciones, ligamentos, músculos y tendones, es vital para que mantengan una vida en buenas condiciones.

Para PAE contar con un prototipo electrónico de rehabilitación es de gran ayuda para la obra social que realizan en favor de animales abandonados y maltratados y aquellos pertenecientes a familias de escasos recursos, ya que como lo menciona la fisiatra veterinaria de PAE, le serviría de apoyo en la rehabilitación de pacientes caninos que presentan diferentes patologías, mediante técnicas de fisioterapia, que incluyen la cinesiterapia pasiva, debido a que esta se realiza únicamente por el fisiatra y además ocupa el mayor tiempo de trabajo de los profesionales que llevan las técnicas de rehabilitación.

### **1.3 Alcance**

El prototipo de ortesis se sujetará a la extremidad posterior del paciente canino permitiéndole a este realizar movimientos que intervienen en la cinesiterapia pasiva como son extensión (movimiento de separación entre los huesos o partes del cuerpo en dirección anteroposterior) y flexión (movimiento por el cual los huesos u otras partes del cuerpo se aproximan entre sí en dirección anteroposterior, paralela al plano sagital), de acuerdo a los parámetros establecidos por la fisiatra.

Para esto se hará uso de un diseño realizado en algún tipo de software CAD para modelado mecánico, basado en ortesis para rehabilitación de la rodilla humana adaptando este modelo existente a una Ortesis veterinaria / rodilla / articulada, como se muestra en la Figura 1. Y considerando también que será destinado a una población determinada de caninos, incluyendo la raza y edad.

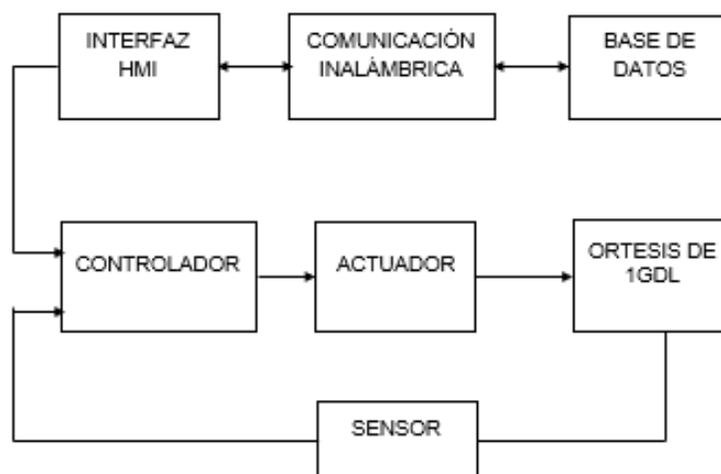


**Figura 1** Ortesis veterinaria / rodilla / articulada  
Fuente: (MedicalEXPO, nd)

Una ortesis articulada permite el movimiento de la articulación de la rodilla en un rango de movimientos limitados. A esta se adaptarán dos actuadores, de manera que se encuentren ubicados en la articulación de la rodilla en las extremidades posteriores del canino, uno en cada lado (derecho e izquierdo) de la articulación. La función de los actuadores es dotar al prototipo de ortesis la capacidad de movimiento para poder realizar el movimiento de extensión-flexión.

El prototipo será controlado por medio de una interfaz de usuario que permite enviar las órdenes de movimiento a la ortesis de manera inalámbrica, por lo tanto, el terapeuta puede seleccionar el tipo de movimiento a realizarse por la ortesis de manera sencilla y a distancia. Adicionalmente, podrá programar la rutina de rehabilitación que el paciente debe realizar y brindará la posibilidad de llevar un control de avance de rehabilitación del paciente canino.

En la Figura 2, se presenta un diagrama esquemático del funcionamiento del sistema:



**Figura 2** Diagrama esquemático del funcionamiento

El sistema que se muestra en la Figura 2 consiste en una ortesis con 1 grado de libertad orientado a la rehabilitación de la rodilla canina. Desde una interfaz de usuario se envían las sesiones de rehabilitación por comunicación inalámbrica al controlador y se recepta la señal del sensor para visualizar el estado de rehabilitación del canino. El controlador enviará señales de accionamiento del mecanismo, al ser accionado, el mecanismo, por medio del actuador, este es capaz de realizar movimientos con 1 grado de libertad dentro de un rango seguro para el paciente (de acuerdo con los límites de movimiento de la rodilla canina). Mientras se realiza el movimiento, el sensor ubicado en la articulación de la rodilla canina envía la información al controlador principal como retroalimentación al controlador.

La interfaz HMI presenta además una comunicación inalámbrica para el acceso a una base de datos, que permita el almacenamiento del estado de rehabilitación de la última sesión realizada en cada paciente canino. Por otro lado, se pretende el uso de un algoritmo de control inteligente, en el cual se considerarán como señal de entrada, la posición, para medir el ángulo de rotación de la articulación. Este tipo de control no requiere el modelamiento matemático del sistema a

controlarse, por lo que es más fácil adaptarlo a las reglas del programador. Una de las variables a considerarse es la resistencia del paciente canino al movimiento ejecutado por la ortesis y se comprobará que el sistema presente una respuesta adecuada de acuerdo al criterio del fisiatra veterinario a cargo.

El proyecto a realizar está dividido en cinco etapas las cuales se detallan a continuación:

- En la primera etapa se realizará la introducción y en la segunda etapa la fundamentación teórica que nos indicará de donde viene nuestro problema a estudiar y hacia donde se perfila.
- En la segunda etapa del proyecto, se realizará la implementación de la arquitectura mecánica de la ortesis, aquí se realizará la adaptación de un diseño similar a una Ortesis veterinaria / rodilla / articulada, en base a un diseño mecánico para rehabilitación de la rodilla humano.
- La siguiente etapa del proyecto consiste en el diseño del algoritmo de control inteligente que permita gobernar los movimientos de la ortesis.
- La siguiente etapa consiste en el desarrollo de una interface de usuario que permite ejecutar terapias con selección de ejercicio y control de avance de rehabilitación del paciente canino.
- En la penúltima parte del proyecto, se concentra en la realización de pruebas de funcionamiento, en la cual se busca medir la precisión de respuesta del sistema, que permitirán analizar el desempeño del mismo a través de un protocolo de medición supervisado por el fisiatra veterinario a cargo
- Finalmente, se presentarán las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente proyecto.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo General

- Desarrollar un sistema de control sobre una adaptación de ortesis veterinaria para rodilla destinado a la rehabilitación del movimiento de la rodilla canina operada desde un dispositivo android a través de la interfaz gráfica de usuario.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar los elementos adecuados como: controlador, sensores, actuadores, etc., de acuerdo a las especificaciones técnicas necesarias para el desarrollo de un prototipo de ortesis que permita la rehabilitación de la rodilla canina.
- Implementar la arquitectura mecánica del prototipo mediante la adaptación de ortesis veterinaria que sea ligera y de fácil adaptación para el paciente canino.
- Determinar el controlador difuso realizando cada etapa que lo compone, para gobernar los movimientos de la ortesis de acuerdo a parámetros del fisiatra veterinario
- Operacionalizar una interfaz de usuario mediante cuadros de opción y botones de control para seleccionar y observar las rutinas de rehabilitación del paciente canino, manipulada a través de un dispositivo android.
- Establecer un protocolo de acuerdo a la precisión de los movimientos, para toma de muestra y análisis de los mismos.

## **CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

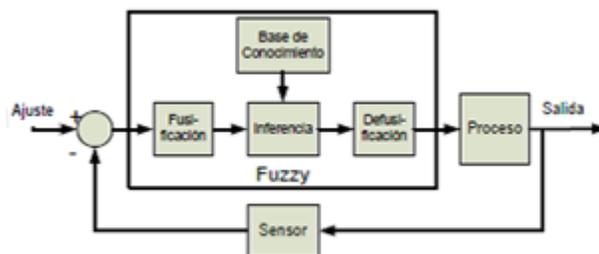
### **2.1 Sistema de Control Difuso**

Un sistema de Control difuso utiliza la lógica difusa como metodología que proporciona una manera sencilla de obtener un resultado a partir de información de entrada imprecisa o incompleta sobre el sistema a controlar.

En contraste con la lógica tradicional, que utiliza conceptos absolutos para referirse a la realidad, la lógica difusa se define en grados variables de pertenencia a los mismos, siguiendo patrones de razonamiento similares a los del pensamiento humano. (Uribe,2015)

#### **2.1.1 Etapas de la Lógica Difusa**

Si bien el control difuso permite un control a través de palabras que interpretan la lógica humana, en lugar de expresiones matemáticas, se presenta un inconveniente de esta información por el micro motor, ya que este no interpreta valores cualitativos sino cuantitativos, por esto se hace necesario un proceso de adaptación previo a introducir el estado de la variable al controlador y también uno que convierta las variables difusas en valores numéricos para que la señal pueda ser aplicada a la planta. Este proceso se muestra en el bloque Fuzzy de la figura 1, el cual presenta las tres etapas de la lógica difusa. (Kouro, nd)



**Figura 3** Sistema de Control Difuso

Fuente: (Kouro, nd)

Estas etapas se definen de la siguiente manera:

- 3 Fusificación: en esta etapa se procesa los valores de las entradas asignando un grado de membresía a un conjunto difuso. (Valenzuela,2013)
- 4 Inferencia: esta etapa junto con la base de conocimiento propone un conjunto de reglas lingüísticas que dictarán la forma en que el sistema actuará.
- 5 Defusificación: en esta etapa se procesa los valores difusos obtenidos de la inferencia, en valores numéricos que puedan ser aplicados a la planta. [Hernandez,2004]

## 2.2 Rehabilitación y fisioterapia canina

La fisioterapia y rehabilitación, aunque son especialidades médicas muy antiguas, han tenido poco desarrollo en la medicina veterinaria. En la práctica médica, se define a la rehabilitación como el empleo de todas las armas médicas que favorezcan la recuperación; estas medidas pertenecen al campo de la medicina física y se emplean como un complemento de los tratamientos médicos y quirúrgicos utilizados para lograr el restablecimiento del paciente inválido hasta sus límites máximos posibles (Santoscoy, 2008).

### 2.2.1 Fines de la rehabilitación y fisioterapia.

- Eliminar la causa de la alteración física.
- Mejorar los síntomas clínicos para retornar a la función normal.

- Aliviar el dolor.
- Reducir la inflamación.
- Minimizar la atrofia de músculos, cartílagos, tendones y ligamentos.
- Mejorar la buena forma cardiovascular.
- Incrementar la velocidad de recuperación.
- Mejorar y prolongar la calidad de vida del animal.

### **2.2.2 Indicaciones para aplicar la rehabilitación y fisioterapia.**

- Recuperaciones post-quirúrgicas ortopédicas y neurológicas.
- Contracturas, esguinces, tendinitis, bursitis y/o debilidad muscular.
- Enfermedad discal y anormalidades de la marcha.
- Alteraciones artrósicas, dolor y edemas.
- Obesidad.

### **2.3 Ortesis veterinaria**

Se entiende por ortesis al dispositivo ortopédico que reemplaza parcial o totalmente las funciones de un miembro con incapacidad física o invalidez. La ortesis consta de una material rígido o semirrígido que se adapta completamente al miembro y que corrige la lesión que presenta. (Traumavet,2018).

A continuación, se presenta una lista en donde se puede hacer uso de la ortesis:

- Parálisis radial
- Artrodesis postquirúrgica
- Protección

## **2.4 Cinesiterapia pasiva**

Es un conjunto de técnica manuales o instrumentales que buscan el movimiento de segmentos corporales mediante una fuerza externa, que normalmente son las manos del terapeuta. (Santoscoy, 2008).

## **2.5 Rango de movimiento pasivo (PROM)**

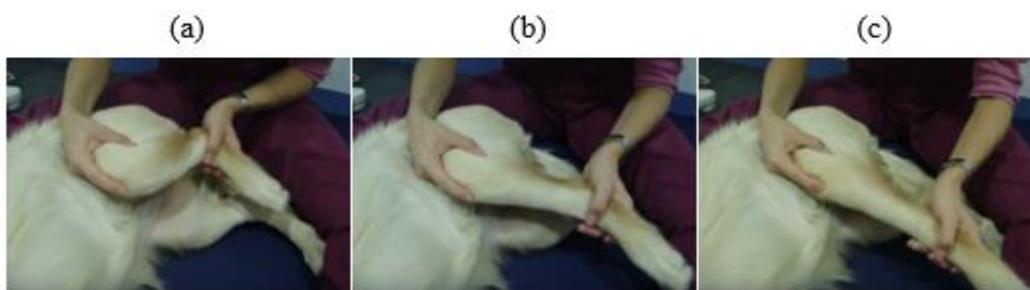
Se refiere al movimiento complejo que puede realizar una articulación, es la manipulación artificial de una articulación a través de un PROM para aumentar la flexibilidad articular y la extensión de los tejidos blandos (Drum,2014).

La rodilla de un canino sano, permite un PROM de 110°, desde los 40° en flexión hasta los 150° en plena extensión (Breval, nd).

## **2.6 Manera de realizar movimientos de flexión y extensión**

La manera manual de realizar los movimientos de extensión y flexión, es colocar las manos encima y debajo de la articulación, flexionar y extender la articulación mientras sujeta la extremidad manipulando la articulación a través de un rango de movimiento pasivo no doloroso y volver a colocar la articulación en su posición normal, mantener el estiramiento y flexión durante determinado tiempo y realice un numero de repeticiones que se considere adecuado para la rehabilitación (Garza,2016).

Este movimiento lo podemos observar en la Figura 4.



**Figura 4** movimientos de flexión y extensión

Fuente: (Garza, 2016)

En la Figura 4 (a) se observa la flexión. En la Figura 4 (b) se observa la extensión parcial. Los movimientos generados en las figuras anteriores realizan un movimiento oscilatorio para llevar al miembro posterior canino de una posición a otra. En la Figura 4(c) nos indica el movimiento de extensión completa. El cual se define como movimiento de estiramiento que consiste en presionar la articulación de la rodilla con una mano y con la otra estirar no solo en el sentido de extensión sino también hacia abajo, con el fin de llegar a la extensión total.

La información indicada en la Figura 4 ha sido corroborada por la fisiatra Evelyn Maldonado quien ha realizado este tipo de movimientos para rehabilitación de rodilla canina en diversas sesiones de rehabilitación como especialista en este campo.

## CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN DE LA ORTESIS VETERINARIA

La selección de la órtesis veterinaria está definida por los requerimientos del proyecto. Los puntos principales a considerarse es la técnica de rehabilitación y las necesidades en la técnica de cinesiterapia pasiva; específicamente para movimientos de flexión y extensión la rodilla canina, por lo que se define como necesario en la aplicación 1 grado de libertad (GDL).

### 3.1 Datos característicos del canino

Los siguientes datos corresponden al paciente canino con el que se realizarán las pruebas de movimientos de flexión-extensión.

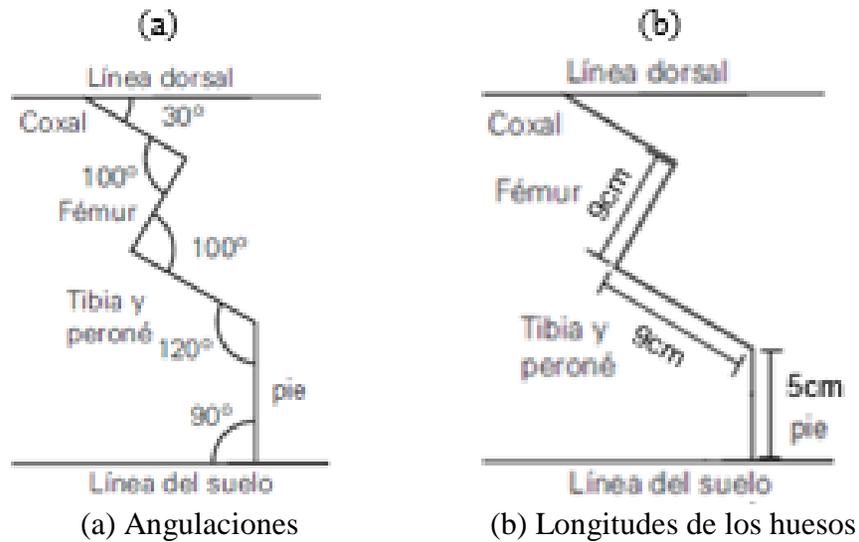
**Tabla 1**

*Datos característicos del canino*

Raza	Talla	Sexo	Edad	Peso	Altura a la cruz
Cocker Spaniel	Pequeña	Macho	1 año	5.5kg	19cm

#### 3.1.1 Angulaciones y longitud:

Los siguientes datos de angulaciones y longitud de cada hueso han sido tomados con ayuda de la fisiatra utilizando un goniómetro, la angulación coxofemoral (coxis-fémur) alrededor de 100°, la angulación femoro-tibio-rotuliana (rodilla) alrededor de 100° y la articulación del garrón alrededor de 120°.

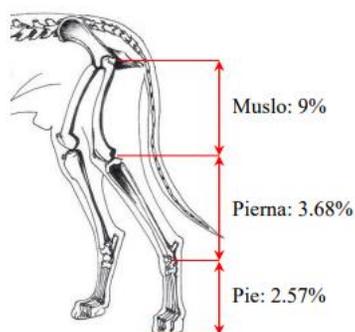


**Figura 5** Angulaciones y longitud de las extremidades posteriores caninas

Los datos de las angulaciones y longitudes de la extremidad posterior del canino que se muestran en la Figura 5, son necesarios para el análisis dinámico del sistema. Un dato a ser considerado más adelante es el valor de ángulo normal de la rodilla de  $100^\circ$ .

### 3.1.2 Cálculo del peso corporal canino

La distribución del peso corporal en los canes comprende el 60% en la parte anterior y el 40% en la parte posterior, donde del 40%, el 15,25% representa el peso de una extremidad posterior. A continuación, se presenta una gráfica que indica el porcentaje aproximado del peso de las zonas (muslo, pierna, pie) del miembro posterior canino. Figura 6.



**Figura 6.** Porcentaje aproximado del peso de las zonas del miembro posterior canino

De acuerdo a la distribución indicada, 2.2 Kg corresponden a las extremidades posteriores, peso del cual el 15,25% representa el peso de una extremidad posterior, es decir 0.335 Kg. En la Tabla 2, se muestra los valores aproximados de cada zona del miembro posterior.

**Tabla 2.**

*Peso aproximado de las zonas del miembro posterior canino*

<b>Zona</b>	<b>Peso(kg)</b>
<b>Muslo</b>	0.198
<b>Pierna</b>	0.081
<b>Pie</b>	0.056

Con estas consideraciones del peso de cada zona del miembro posterior canino, se puede determinar que el peso total aproximado que tendrá que soportar la ortesis canina, sería la suma del peso de la pierna, el pie, la ortesis y elementos electrónicos que es de aproximadamente 0.23 kg.

### **3.2 Modelo de ortesis**

De acuerdo a los datos característicos del canino, en cuanto a peso y longitud tibial, se ha adquirido un producto llamado Caerus CCL Stifle (Knee) Brace en talla XS, de la empresa Animal Ortho Care (AOC) de la marca Caerus Corp. Este producto corresponde a una ortesis veterinaria diseñada para: lesiones en la articulación de la rodilla, recuperación postoperatoria, movilidad limitada, entre otras. (Animal Ortho Care,2018)



**Figura 7.** Ortesis veterinaria Caerus CCL Stifle (Knee) Brace

Las características del modelo mencionado corresponden al de un producto diseñado específicamente para rehabilitación de rodilla canina, sus características y parámetros tecnológicos de diseño se puede visualizar en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Características de Caerus CCL Stifle (Knee) Brace (Animal Orho Care,2018)*

Características	Tecnología
<ul style="list-style-type: none"> <li>El material termoplástico patentado se calienta a bajas temperatura</li> <li>Amortiguación de espuma de grado médico, alivia la presión sobre el área afectada.</li> <li>Sistema de cierre de gancho y bucle Boa se tensa y afloja para mayor comodidad</li> <li>Desmontable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impermeable</li> <li>Gama de bisagras de movimiento</li> <li>Permite rango completo de movimientos, rango de movimiento limitado o una posición bloqueada.</li> </ul>

En la Figura 8 se puede apreciar la estructura mecánica de la ortesis, las bisagras de movimiento permiten el rango completo de movimiento, rango de movimiento limitado o una posición bloqueada.

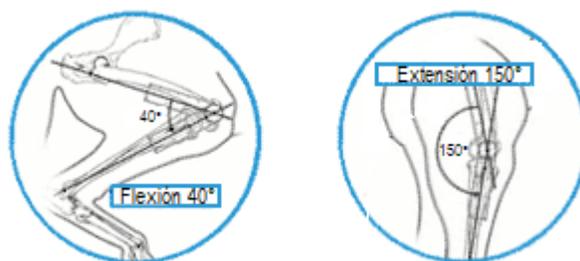


**Figura 8** Gama de bisagras

La Figura 8 muestra la gama de bisagras implementada en la ortesis. Esta permite al sistema contar con 1 GDL y como un factor de seguridad adicional, la bisagra ubicada en el ángulo de la rodilla permite un ajuste completo e incremental del rango de movimiento articular en diversos grados, mediante la ubicación de tornillos en los orificios que presenta, para garantizar que no se exceda los rangos de movimientos.

### **3.3 Planificación de movimientos**

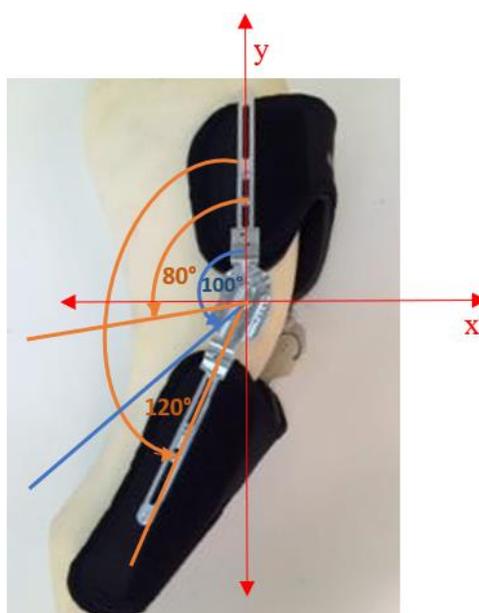
La rodilla realizará los movimientos de flexión- extensión. En el caso específico del canino con el que se está trabajando, tiene un ángulo normal en la rodilla de  $100^\circ$ , con un límite normal de movimiento de  $110^\circ$ , desde los  $40^\circ$  de flexión hasta un rango de  $150^\circ$  en extensión. Estas medidas se han realizado por la fisiatra, utilizando un goniómetro.



**Figura 9.** Rango de movilidad de la rodilla

Sin embargo, se ha limitado el rango de flexión y extensión de acuerdo a los parámetros de funcionamiento y el hardware utilizado.

### 3.3.1 Limitación de rango de movimiento de la ortesis



**Figura 10.** Esquema gráfico del rango de posición angular del sistema

En la Figura 10, para la medición de posición angular de la ortesis, la referencia de ángulo se mide a partir de la bisagra colocada en el hueso femorotibial de miembro posterior derecho. A partir de ahí se miden  $100^\circ$  que es al ángulo normal de la rodilla del canino de prueba, identificado en color celeste. Es importante conocer que el control de posición será realizado a partir de este

ángulo. Las líneas en color anaranjado representan el límite del rango de movimiento de la ortesis en flexión y extensión, de acuerdo a los siguiente:

- Ángulo de flexión máximo de 80°, esto debido a que la estructura de la ortesis ya ubicada en el miembro posterior canino, únicamente permite llegar a esta posición. A continuación, se muestra una tabla donde se realizaron 3 mediciones de ángulo en este estado.

**Tabla 4**

*Medición de ángulo de flexión máximo*

<b>N° medición</b>	<b>Ángulo máximo de flexión con ortesis ubicada en el miembro posterior</b>
<b>1</b>	85°
<b>2</b>	86°
<b>3</b>	85°

Se ha limitado a 80° debido a que el error entre 80 y 84(máximo de extensión) es de 4°, y como se mencionó en la parte de diseño del control difuso, el error mínimo debe ser de 10°.

- Ángulo de extensión máximo de 120°, limitante que se puede justificar en base a lo mencionado en la Figura 1, Este valor es definido de tal manera de llegar a la extensión requerida para un estiramiento del hueso tibial del miembro posterior por parte de la fisioterapeuta; sin embargo, una extensión total no puede ser ejecutado con la estructura que presenta la ortesis veterinaria.

A continuación, se muestra una tabla donde se realizó la medición del ángulo de extensión máxima realizado únicamente con movimientos que no requieren estirar el hueso tibial.

**Tabla 5***Medición del ángulo de extensión máxima*

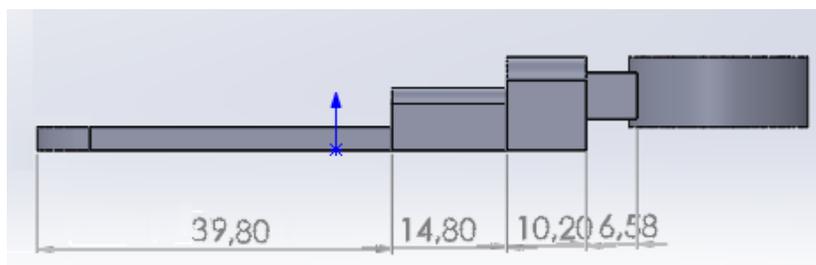
Nº medición	Ángulo máximo de extensión con ortesis ubicada y sin estiramiento del hueso tibial
1	120°
2	122°
3	123°

Con los datos de valor de ángulo obtenidos en la Tabla 5 se determina que el ángulo de extensión máximo llega a 120°; de tal manera que no afecte en el error considerado en la aplicación.

### 3.4 Adaptación del modelo al sistema de rehabilitación

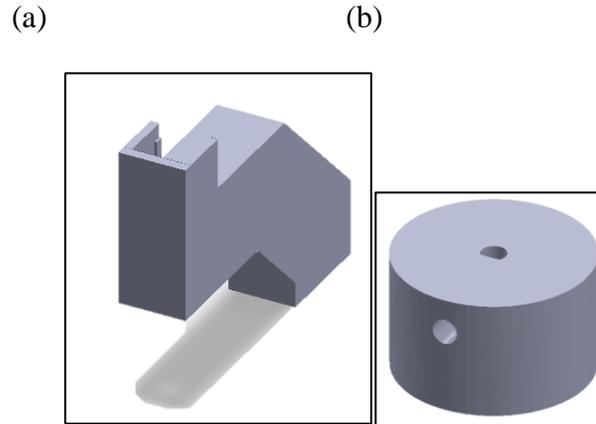
El diseño de la pieza de acople entre el actuador y la ortesis, fue diseñada de tal de manera que los movimientos de flexión-extensión sean realizados por el actuador. Este diseño se ha realizado bajo la supervisión del Ing. Edwin Cortés, docente de la materia de Mecanismos de la ESPE.

El diseño ha sido realizado en SolidWorks, se ha tomado como referencia en cuanto a dimensiones, al diseño realizado del motor pololu 1000:1, con dimensiones mostradas en la Figura 22. Y las dimensiones de la gama de bisagras de la ortesis, mostrado en la Figura 11.



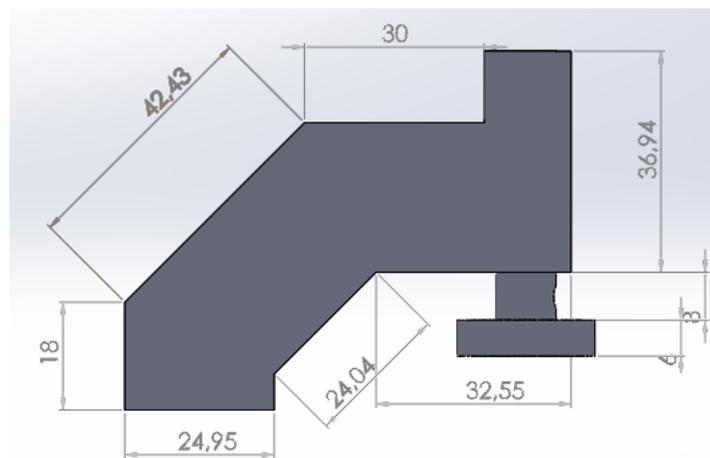
**Figura 11** Dimensiones de la gama de bisagras de la ortesis

Modelo con orientación izquierda



**Figura 12** Piezas de acople realizadas en Solidworks en vista trimétrica

El diseño visualizado en la Figura 12 ha permitido que el actuador y la ortesis se conformen como un solo sistema. En la Figura 12 (a) se ubica el motorreductor, y en la Figura 12 (b) se encuentra fijada a la ortesis en la parte posterior. La parte superior aprovecha el eje extendido del motorreductor para fijarlo con un dispositivo mecánico llamado prisionero de manera que cuando el motor gira en sentido horario y antihorario, la ortesis genera el movimiento de extensión-flexión. A continuación, se presentan las dimensiones de las piezas indicadas en la Figura 13.



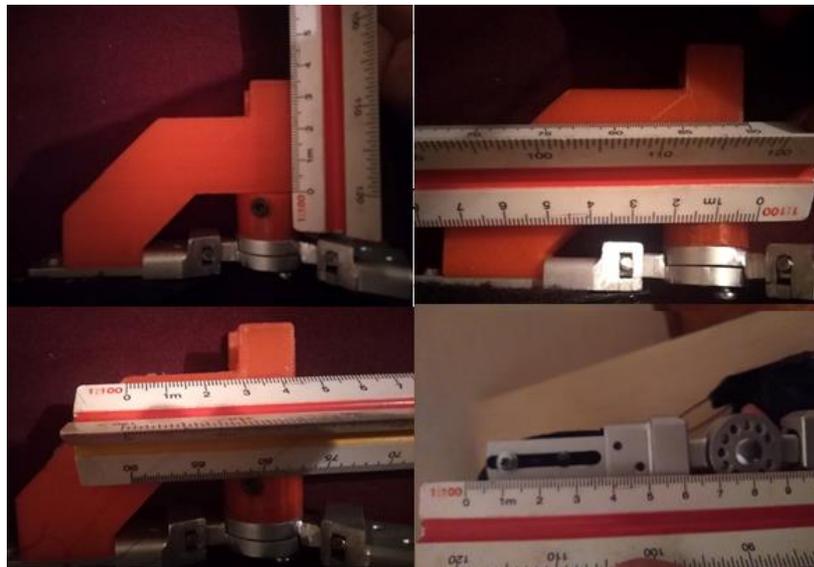
**Figura 13** Dimensiones de la pieza de acople

Las piezas mostradas en la Figura 12 se han impreso en 3D con la impresora SeeMeCNC Rostock MAX v3 del Departamento de Eléctrica y Electrónica. El resultado se observa en la Figura 14.



**Figura 14** Pieza de acople impresa en 3D

A continuación, se presenta la medición de la gama de bisagras y la pieza de acople físicas. Figura 15.



**Figura 15** Medición de lados de la pieza de acople y gama de bisagras

Con las mediciones realizadas en las Figura 15 se comprueba que las dimensiones utilizadas para el diseño de la pieza de acople se realizaron en base a las dimensiones de la gama de bisagras. A continuación, en la Figura 16 se presenta la implementación de la ortesis veterinaria con la pieza de acople.



**Figura 16** Implementación de ortesis con pieza de acople

## CAPÍTULO IV

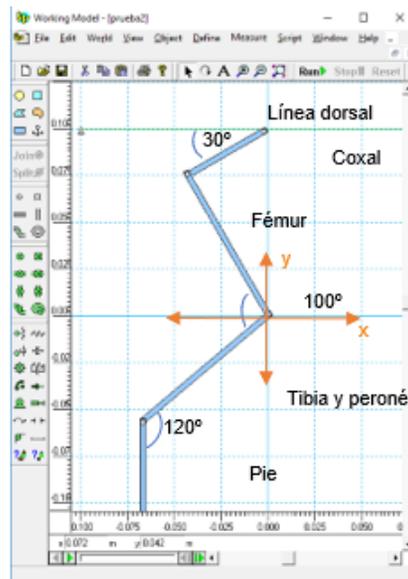
### DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

En el presente capítulo, se muestra el desarrollo del sistema de control, para el cual es necesario determinar en primera instancia los parámetros de torque y velocidad que han sido considerados para la elección de los elementos electrónicos que formarán parte del diseño electrónico del controlador, esto con el fin de definir correctamente las variables que intervienen en el sistema de control difuso para su correcto funcionamiento.

#### 4.1 Parámetros

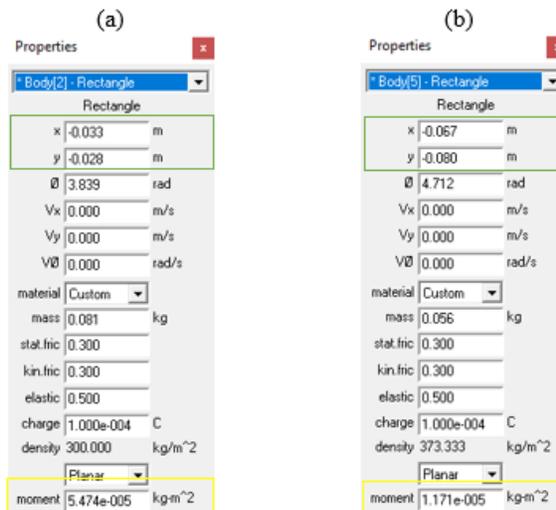
##### 4.1.1 Momentos de inercia y centros de gravedad

El cálculo de estos parámetros permite determinar el torque necesario que debe presentar el eje del actuador para realizar los movimientos de extensión y flexión. En el software Working Model, se ha ubicado el eje de referencia en la angulación femoro-tibio-rotuliana (rodilla) y se han utilizado los datos de la Figura 5 (b) y Tabla 2, para su representación gráfica, como se observa en la Figura 17.



**Figura 17.** Representación de los segmentos de la extremidad posterior en Working Model

El Software Working Model, nos muestra los datos de los segmentos (tibia y peroné, y pie) con los que se va a trabajar para realizar el análisis dinámico de la ortesis, como se puede observar en la Figura 18.



(a) Segmento tibia y peroné (b) Segmento pie  
**Figura 18.** Valores de centro de gravedad y momento de inercia

La Tabla 6 muestra los valores de centro de gravedad y momentos de inercia obtenidos con el software Working Model.

**Tabla 6**

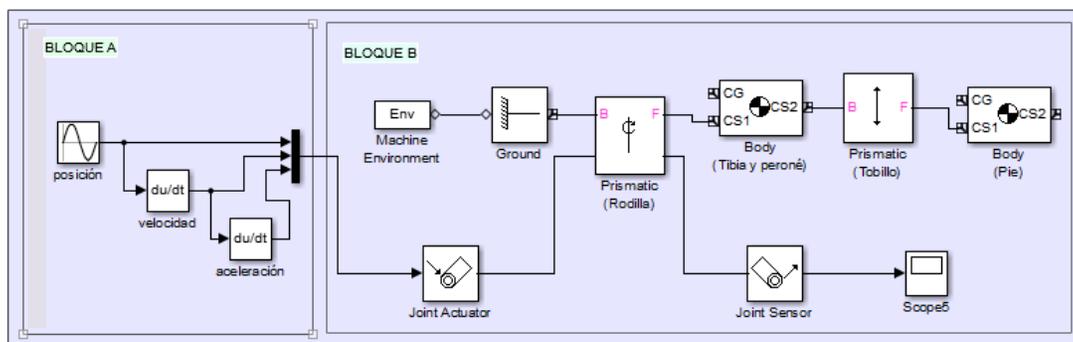
*Momento de Inercia y centro de gravedad*

Segmento	Momento de Inercia ( $kg \cdot m^2$ )	Centro de gravedad
Tibia y peroné	$5.474 \times 10^{-5}$	(-0.033; -0.028)
Pie	$1.171 \times 10^{-5}$	(-0.067; -0.080)

Estos valores van a ser empleados en la simulación del modelo de la ortesis en el toolbox Simmechanics de Matlab, para obtener el valor del torque máximo que debe presentar el motor para mover el miembro posterior canino.

#### 4.1.2 Simulación del sistema

La simulación del sistema permite obtener el torque mínimo necesario que debe tener el actuador para realizar los movimientos de flexión-extensión, realizada con los toolbox SimMechanics y Simulink de Matlab R2015a. Los datos de la Figura 5(b) y Tabla 2, se han utilizado para realizar el diagrama de bloques de la extremidad posterior con los segmentos tibia y peroné y pie, como se indica en la Figura 19.

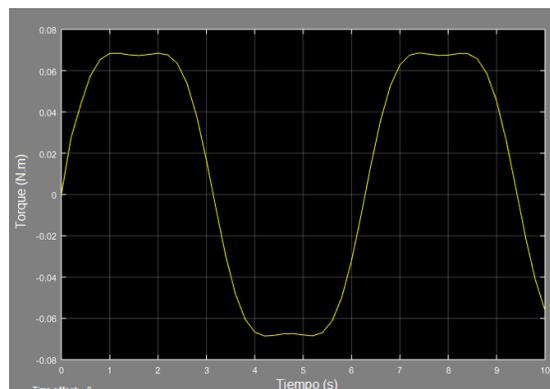


**Figura 19.** Diagrama de bloques de la extremidad posterior canina

En la Figura 19 el BLOQUE A representa el movimiento que realiza el miembro posterior canino, mediante una señal seno con amplitud de 1.75 y frecuencia de 1rad/s, ubicados en el bloque posición. En el BLOQUE B, con los bloques *Machine Environment*, *Ground* y *Body* se ha modelado el sistema mecánico del miembro posterior canino, en el bloque *Body* se ingresaron características de masa, momento de inercia, ubicación de centro de gravedad y sistema de coordenadas. El bloque *Ground* sirve como base de referencia para unir los elementos del sistema. En el bloque *Machine Environment* se configuran las propiedades del medio donde el sistema mecánico modelado trabajará. Los bloques Prismatic están configurados para permitir el movimiento con 1 GLD entre los cuerpos. El bloque *Joint Actuator* inicia el movimiento de los cuerpos y articulaciones, de acuerdo a la señal emitida por el BLOQUE A, requiere 3 señales: posición, velocidad y aceleración. El bloque *Joint Sensor* mide el movimiento realizado por los cuerpos y articulaciones, la posición, velocidad y torque se obtuvieron con este bloque.

### 4.1.3 Torque

La trayectoria de movimiento que describe la rodilla requiere de una fuerza llamada torque que permite posicionarla en un punto u otro. En la Figura 20 se puede observar el torque necesario para mantener en movimiento el sistema.

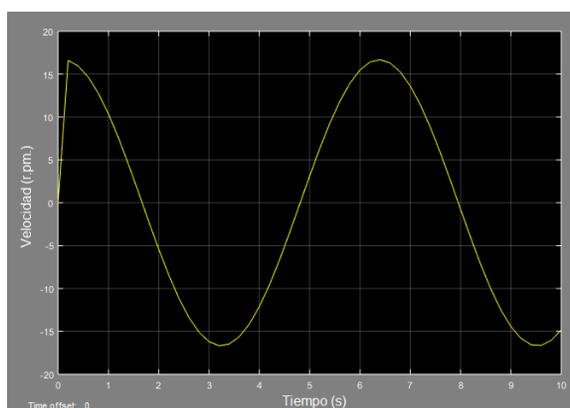


**Figura 20.** Torque máximo del sistema

En la Figura 20 se ha podido observar que el torque máximo del sistema es del aproximadamente 0.065 N.m.

#### 4.1.4 Velocidad

El sistema mostrado en la Figura 19 ha sido simulado con una velocidad que varía entre 0rpm y 18 rpm, como se muestra en la Figura 21. Estos valores dependen de la potencia entregada al motor, y de la fuerza que el eje del motor tenga que realizar para mover la articulación de la rodilla.

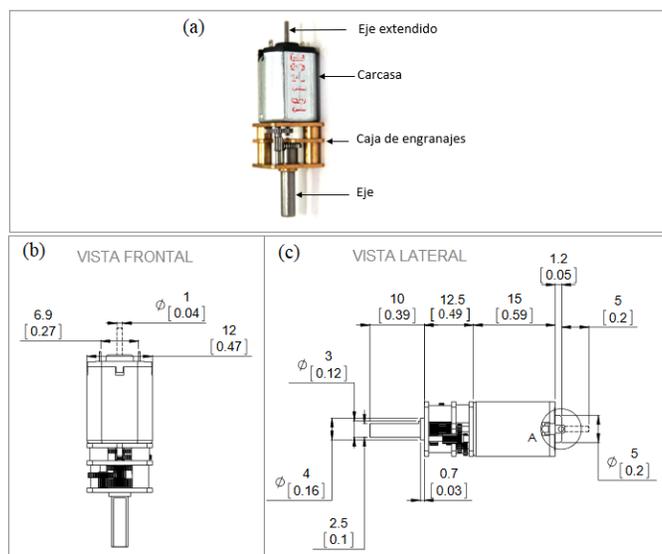


*Figura 21* Velocidad del actuador

## 4.2 Elementos Electrónicos

### 4.2.1 Actuador

Para elegir el actuador, se ha considerado un tamaño reducido de tal manera que encaje en la ortesis sin que dañe sus características portátiles y ergonómicas y que a su vez tenga el suficiente torque para vencer la fuerza que la pata del canino realice. Es por esto que se ha elegido el modelo de motor: Motorreductor Micro Metal 1000:1 MP 6V con eje extendido, que se observa en la Figura 22.



**Figura 22** Motorreductor Micro Metal 1000:1 MP 6V con eje extendido.

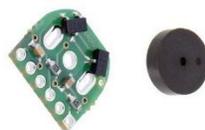
La Figura 22 (a) muestra las partes que componen el motor. En la Figura 22 (b) se observa las dimensiones del motor en vista frontal. En la Figura 22 (c) se observa las dimensiones del motor en vista lateral. Las dimensiones están en unidades de pulgadas (en paréntesis) y milímetros (sin paréntesis).

En el motor de la Figura 22, las siglas MP corresponden a: media potencia, presenta características de funcionamiento a 6V y 0.67 A, esta característica permite al motor ser alimentado con el microcontrolador, entregar un torque máximo de 6.5kg.cm, suficiente para el control de posición, la relación 1000:1 de la caja de engranajes que presenta permiten un control más preciso a velocidad muy bajas (Pololu,2001)

El eje extendido que presenta este motor se ha utilizado para colocar un encoder que es el sensor dentro del sistema de control.

#### 4.2.2 Encoder

Los encoder que normalmente se usan con el actuador mencionado, son: ópticos y magnéticos. El encoder óptico a la salida de su placa codificadora presenta un fototransistor directo, el cual necesita un acondicionamiento de señal entre el sensor y un sistema digital que procesa las señales (Pololu, 2001). El encoder magnético por otro lado se puede conectar directamente a un circuito digital o microcontrolador, el encoder magnético mostrado en la Figura 23, has sido el elemento seleccionado por su facilidad de implementación.



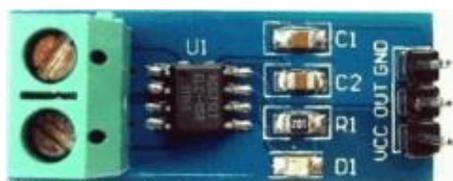
**Figura 23** Encoder magnético  
Fuente: (Pololu, 2001)

El Encoder seleccionado tiene un voltaje de operación entre 2.7 y 18V adecuado para ser alimentado directamente desde el microcontrolador. El sensor proporciona además una resolución de 12 conteos por revolución del eje del motor, es decir que debido a la relación de la caja reductora del motor de 1000:1, por cada vuelta se obtendrá, una resolución de 12000 conteos por vuelta, donde una vuelta representa 360°. Con estos datos podemos calcular la precisión del Encoder de 0.03 dado por (1). Lo cual genera un máximo error de medición de ángulo de 0.03°

$$precisión = \frac{360}{12000} = 0.03 \quad (1)$$

#### 4.2.3 Sensor de corriente

La implementación requiere un sensor que permite obtener el valor de corriente que circula por el actuador. Este parámetro permitirá comprobar que el actuador presente el torque necesario que requiere el sistema. El sensor de corriente ASC712 de 5A mostrado en la Figura 24 presenta características definidas en la Tabla 7, con las cuales cumple con el requerimiento de la aplicación.



**Figura 24** Sensor de corriente ASC712

**Tabla 7**

*Características técnicas del sensor ASC712*

<b>Características:</b>
Capacidad de corriente hasta 5 A
Bajo nivel de ruido de las señales analógicas
Tiempo en respuesta a la corriente de entrada de 5 $\mu$ s
Ancho de banda de 80KHz
Error de salida a 25°C de 1.5 %
Voltaje de operación única de 5V
Sensibilidad de salida de 185 mV
Histéresis magnética de casi cero

Cabe mencionar que este sensor no formará parte del circuito de control y se lo utilizará únicamente cuando se requiera saber el valor de corriente.

#### **4.2.4 Driver para el actuador**

La elección del driver se basó en los requerimientos del motor y la facilidad de funcionamiento e implementación. El DRV8838 permite un voltaje de alimentación al motor entre 0 y 11V, y su corriente proporciona hasta 1.7A continuos. Este valor de corriente varía de acuerdo al voltaje suministrado en los pines VIN y VCC, con lo cual permite alimentar al motor elegido con 6V de voltaje y hasta 0.67A de corriente.

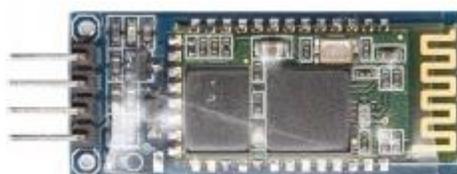


**Figura 25** DRV8838  
Fuente: (Pololu, 2001)

La comprensión del funcionamiento del driver de la Figura 25, se ha obtenido después de leer su datasheet, mostrado en el Anexo 7. La interfaz de ENABLE/FASE que presente este circuito integrado permite una programación más sencilla, ya que solo se necesita de una señal PWM (ENABLE), razón por la cual ha sido seleccionado como driver para el motor.

#### 4.2.5 Módulo bluetooth

El sistema requiere una comunicación inalámbrica entre el dispositivo con Android y el microcontrolador de tal manera que habilite la ejecución de los movimientos desde Android, por esto se ha utilizado un módulo bluetooth HC-06 que funciona en modo esclavo, suficiente para el requerimiento de comunicación inalámbrica del sistema. El módulo se observa en la Figura 26.



**Figura 26** Módulo Bluetooth HC-06

#### 4.2.6 Microcontrolador

La selección del microcontrolador se basa en los siguientes requerimientos:

- Tamaño pequeño
- Frecuencia 9600 baudios
- Cantidad de pines interrupción en al menos 4

- Número de entradas y salidas (4 entradas y 3 salidas)

Una tarjeta de desarrollo que cumple con estos requerimientos es la Teensy 3.2, mostrada en la Figura 27.



**Figura 27** Teensy 3.2  
Fuente: (Adafruit, 2005)

**Tabla 8**

*Características técnicas Teensy 3.2 (Adafruit,2005)*

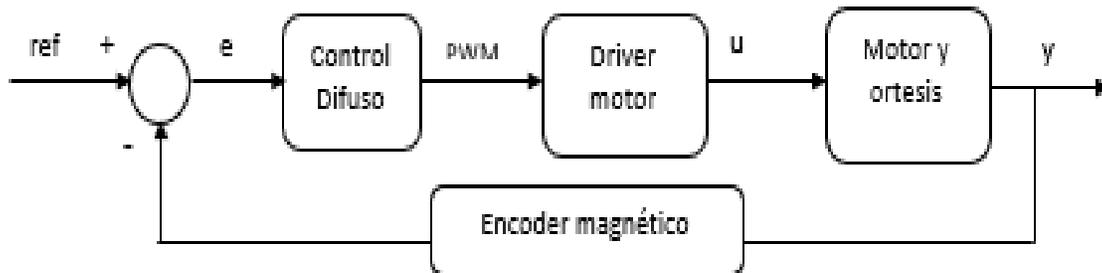
<b>Características Técnicas</b>
Dimensiones: 18mm x 37mm x 4mm
32-bit ARM Cortex-M4 de 72MHz
Memoria Flash 256K, RAM 64K, EEPROM 2K
34 entradas/salidas digitales
12 salidas PWM
7 temporizadores de intervalo/retardo
Todos los pines tienen capacidad de interrupción

De acuerdo a las características que presenta la Teensy 3.2 en la Tabla 8, podemos utilizarla como una de las alternativas de tarjetas de desarrollo que se pueden emplear en este proyecto.

### **4.3 Sistema de control difuso**

La Figura 28 muestra un diagrama de bloques en donde se observan los elementos, dispositivos y parámetros que integran el sistema de control difuso. El sistema está compuesto por un motor de corriente continua que recibe señal del controlador DRV8838 con puente H para el control

bidireccional, este controlador recibe una señal de entrada con modulación por ancho del pulso (PWM); que es enviada desde el controlador difuso, a este ingresan las señales de retroalimentación del sensor de posición conformado por un encoder de cuadratura y estas señales son procesadas para realizar la lógica de control que el sistema requiere.



**Figura 28** Sistema de control difuso

Las variables en el sistema se encuentran definidas de la siguiente manera:

- Referencia: representada como “ref” en la Figura 28, esta variable presenta los valores de ángulos deseados enviados desde la interfaz gráfica de usuario.
- Error de posición: representada con la letra “e” en la Figura 28 se obtiene mediante la diferencia entre el valor de referencia y la posición angular de salida(y).
- Señal de control: representada con la letra “u” en la Figura 28, esta señal es la respuesta del controlador difuso, para control del motor a través del DRV8838.
- Señal de salida: representada con la letra “y” en la Figura 28, indica la posición angular de la ortesis, medida por medio del encoder magnético y enviada como entrada al sistema de control.

#### 4.3.1 Driver DRV8838

Recibe como señal de entrada la salida del control difuso. Esta señal ingresa al pin ENABLE del driver para controlar la velocidad del motor con una señal PWM. Por otro lado, el pin FASE

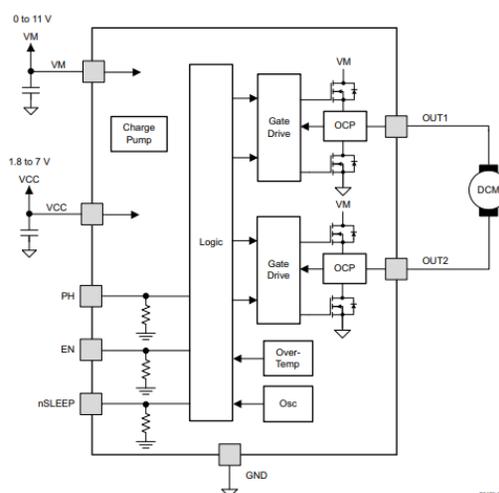
permite al sistema controlar la dirección actual (avance o retroceso). La lógica de funcionamiento viene definida como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Tabla de verdad del funcionamiento del DRV8838*

nSLEEP	Fase	Enable	Out1	Out2	Función (MOTOR CC)
1	0	PWM	PWM	L	Avance/freno a velocidad del %PWM
1	1	PWM	L	PWM	Marcha atrás/freno a velocidad del %PWM
1	X	0	L	L	Freno bajo (salidas en cortocircuito a tierra)
0	X	X	H	Z	Costa (salidas flotantes/desconectadas)

La dirección a la cual gire el motor puede controlarse gracias al puente H del driver, el mismo que se puede observar en la Figura 29:



**Figura 29** Diagrama de bloques funcional del DRV8838

Fuente: (Pololu, 2001)

El puente H está protegido contra subtensión VCC, sobrecorriente o eventos de sobre temperatura como se observa en la Tabla 10.

**Tabla 10***Tabla de comportamiento de falla del puente H*

Falla	Condición	Puente H	Recuperación
Subtensión VCC	$VCC < 1.7 \text{ V}$	Desactivado	$VCC > 1.8 \text{ V}$
Sobrecorriente	$I_{out} > 1.9 \text{ A}$	Desactivado	Trecup transcorre
Sobre temperatura	$T > 150^\circ\text{C}$	Desactivado	$T < 150^\circ$

El funcionamiento del puente H de la Figura 29, está definido por la activación de los 2 bloques Gate Drive de acuerdo a la lógica descrita en la Tabla 9, estos bloques generan un control de Puerta (G) de los transistores FET de canal N, su símbolo electrónico se muestra en la Figura 30, de tal manera de controlar la corriente que circula en el Drenaje (D) de acuerdo al voltaje aplicado entre la Puerta (G) y la Fuente(S); donde esta corriente permite el avance o retroceso del motor.

**Figura 30** Transistor FET de canal N

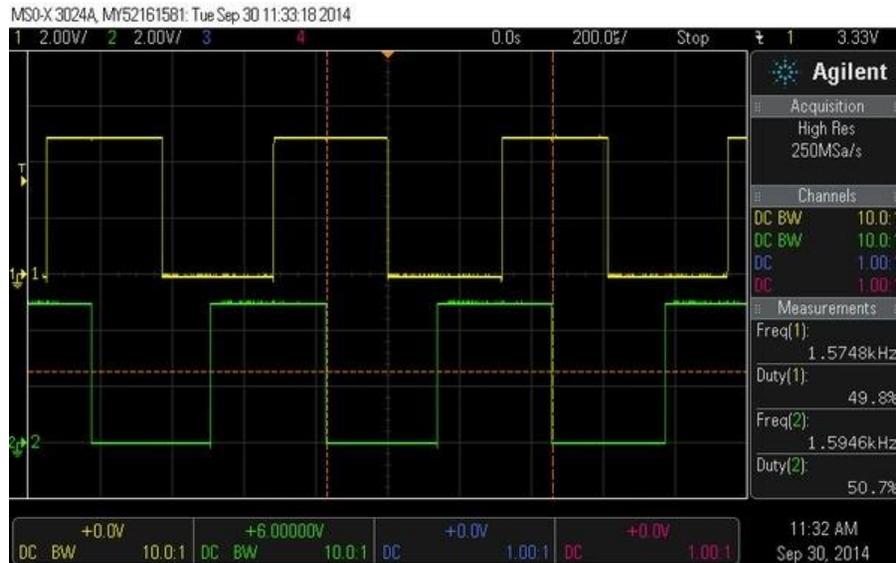
Fuente: (Pololu, 2001)

La señal de salida de este driver corresponde al parámetro “u” de la Figura 28. Señal que ingresa al actuador y se transduce de acuerdo a las necesidades del actuador.

#### 4.3.2 Motor de corriente continua

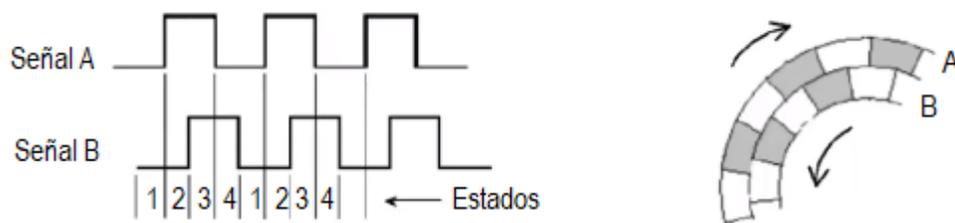
Este motor funciona de acuerdo a la señal enviada por driver DRV8838, es decir se comporta de acuerdo a los parámetros y consideraciones definidas en la Tabla 9, su comportamiento permite obtener la posición angular del eje del motor que representa la Salida(y) del sistema de control. Para medir la posición del motor, se utilizó un encoder de cuadratura magnético, el mismo que cuenta con 6 pines, 2 para la alimentación del encoder, 2 para el control del motor y 2 salidas en

cuadratura que son señales digitales que presentan valores de 0 voltios o voltaje en VCC, de acuerdo a los sensores de efecto hall o resistencias pull-up de 10 k $\Omega$  respectivamente, dependiendo del campo magnético aplicado.



**Figura 31** Salidas Ay B en cuadratura de un encoder magnético  
Fuente: (Pololu, 2001)

En la Figura 32 las 2 salidas en cuadratura están desfasadas 90° entre ellas; y los comparadores de los sensores tienen histéresis incorporada, lo que evita señales falsas en los casos en que el motor se detenga cerca de un punto de transición. Además, esta característica permite obtener tanto la posición como las dirección y velocidad del movimiento.



**Figura 32** Señales A y B de un encoder de cuadratura

### 4.3.3 Decodificación del signo

Realizamos una decodificación de signo para determinar el sentido del movimiento del eje del motor, para esto se toma como referencia el desfaseamiento y como se presenta este entre ambas señales.



**Figura 33** Esquema gráfico del sentido de giro del eje de un motor

El esquema de la Figura 33 nos ayuda a determinar la codificación de signo en base a los 4 estados (Ver en Tabla 11) que dan como resultado la combinación de las dos señales A y B y el sentido de giro entre cada estado.

**Tabla 11**

*Sentido de giro en función de los estados de las señales A y B*

Estado	Horario	0	1	2	3
<b>antihorario</b>	AB	11	10	00	01
<b>0</b>	11	X	neg	X	pos
<b>1</b>	10	Pos	X	Neg	X
<b>2</b>	00	X	pos	X	neg
<b>3</b>	01	Neg	X	Pos	X

Así, por ejemplo, si la señal A y B se encuentran en estado 11 respectivamente, cambian a estado 10 significa que el eje del motor girará en sentido horario y en sentido contrario si cambia a estado 01.

Para determinar la posición del motor, se crea un algoritmo que represente los valores mostrados en la Tabla 11. Este algoritmo permite obtener una variable que incrementará o decrementará de acuerdo al número de veces que el sensor de efecto hall del encoder magnético crea un voltaje saliente cuando se aproxima un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, es decir cada vez que gire el eje extendido del motor.

Para representar esta variable como posición angular del eje del motor, se realiza la multiplicación de este valor por la resolución del encoder, que se obtiene al dividir el equivalente a 1 RPM en grados, dividido para el número de cuentas por revolución del encoder y multiplicando este por la relación de reducción del motor (1000:1), definiéndose de la siguiente manera:

$$\text{Posición angular} = \text{count} * (360 / (12 * 1000))$$

#### **4.4 Diseño del controlador difuso**

##### **4.4.1 Definición de variables**

Primero se definen las variables de salida del sistema, sobre las cuales se estructuran las variables de entrada. El sistema ubica en una posición al eje del motor, esto nos da como variable de salida la posición angular. Para definir la entrada, se considera el tipo de variables que controlan el sistema, de manera de comprender que el motor puede ubicarse en una posición, con un ángulo de referencia y el ángulo que se tiene la salida del controlador para determinar que ya se llegó a la referencia, para finalmente definir la variable de entrada como el error de posición. De acuerdo a la Figura 28 se define al error de posición en la ecuación 2.

Entrada:

$$e = y - ref \quad (2)$$

Donde:

e: error de posición angular

y: ángulo del eje del motor medido utilizando el encoder de cuadratura

ref: valor de referencia del ángulo deseado

#### **4.4.2 Fusificación de la entrada error de posición.**

Para iniciar este proceso, es necesario definir los conjuntos difusos que se utilizarán, de manera que puedan definir las variables de entrada y salida. También se requiere definir los grados de pertenencia para cada variable, donde en total de utilizan 10 conjuntos difusos, definidos por las siguientes variables lingüísticas:

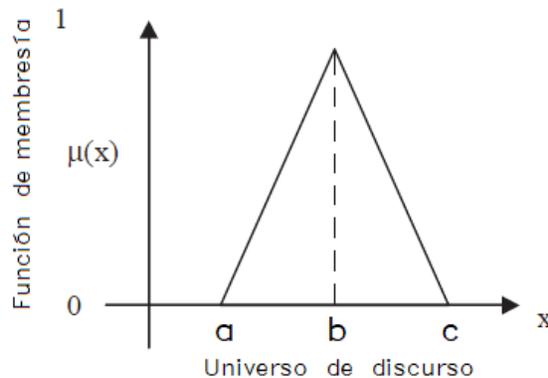
- Error de posición angular
  - ENG: error negativo grande
  - ENP: error negativo pequeño
  - EZ: error cero
  - EPP: error positivo pequeño
  - EPG: error positivo grande
- Voltaje
  - VNG: voltaje negativo grande
  - VNP: voltaje negativo pequeño
  - VZ: voltaje cero
  - VPP: voltaje positivo pequeño
  - VPG: voltaje positivo grande

Una vez definidas las variables de entrada y salida, se selecciona la función de pertenencia, esta ayuda a especificar el significado de un valor lingüístico, también es un modelo matemático que permiten representar un conjunto difuso de forma gráfica en donde el eje “x” representa el universo de discurso, y en el eje “y” los grados de pertenencia.

Se seleccionó la función de pertenencia triangular. Este tipo de pertenencia ha sido escogido ya que los conjuntos difusos triangulares al ser implementados en un microcontrolador presentan mayor facilidad en su representación, manejo y evaluación. La Ecuación 3 define una función de pertenencia triangular.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (3)$$

La Ecuación 3 está representada por la Figura 34.



**Figura 34** Conjunto difuso triangular

A continuación, con la ecuación 3 se representa matemáticamente las variables difusas de entrada con las ecuaciones 4,5,6,7 y 8, y las variables difusas de salida con las ecuaciones 9,10,11,12 y 13.

- Funciones de membresía para la entrada: se ha delimitado un rango del error mínimo de  $10^\circ$ , este parámetro ha sido establecido por la fisiatra, quien considera que para la recuperación la rodilla canina, el rango de movimiento pasivo presente como mínimo una variación de  $10^\circ$  entre cada ángulo. De esta manera se puede asignar en el conjunto difuso (EZ) el voltaje mínimo que requiere salida.

$$\mu_{ENG}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -100 \\ 1, & -100 < x \leq -66.25 \\ \frac{0-x}{33.75}, & -66.25 < x \leq -32.5 \\ 0, & -32.5 \leq x \end{cases} \quad (4)$$

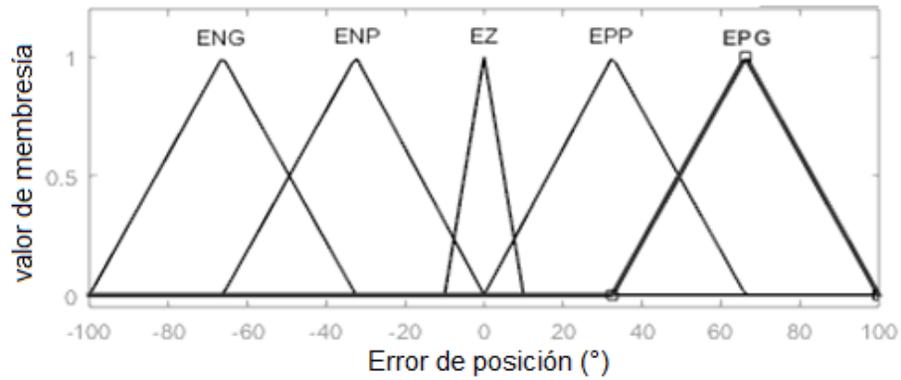
$$\mu_{ENP}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -66.25 \\ \frac{x+66.25}{33.75}, & -66.25 \leq x \leq -32.5 \\ \frac{0-x}{32.5}, & -32.5 \leq x \leq 0 \\ 0, & 0 \leq x \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{EZ}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -10 \\ \frac{x+10}{10}, & -10 \leq x \leq 0 \\ \frac{10-x}{10}, & 0 \leq x \leq 10 \\ 0, & 10 \leq x \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{EPP}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x-0}{32.5}, & 0 \leq x \leq 32.5 \\ \frac{66.25-x}{33.75}, & 32.5 \leq x \leq 66.25 \\ 0, & 66.25 \leq x \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{EPG}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 32.5 \\ \frac{x-32.5}{33.75}, & 32.5 \leq x \leq 66.25 \\ 1, & 66.25 \leq x \leq 100 \\ 0, & 100 \leq x \end{cases} \quad (8)$$

Una vez realizadas las funciones de membresía de las variables difusas de entrada. Se representa la entrada en la Figura 35.



**Figura 35** Entrada difusa al controlador difuso de posición

- Funciones de membresía para la salida: para establecer estas funciones, se considera que para llegar a una posición angular considerando el torque que debe presentar el motor, se requiere de un voltaje mínimo de 1.5 voltios.

$$\mu_{VNG}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -3.3 \\ \frac{x+3.3}{0.5}, & -3.3 < x \leq -2.8 \\ \frac{-2.3-x}{0.5}, & -2.8 < x \leq -2.3 \\ 0, & -2.3 \leq x \end{cases} \quad (9)$$

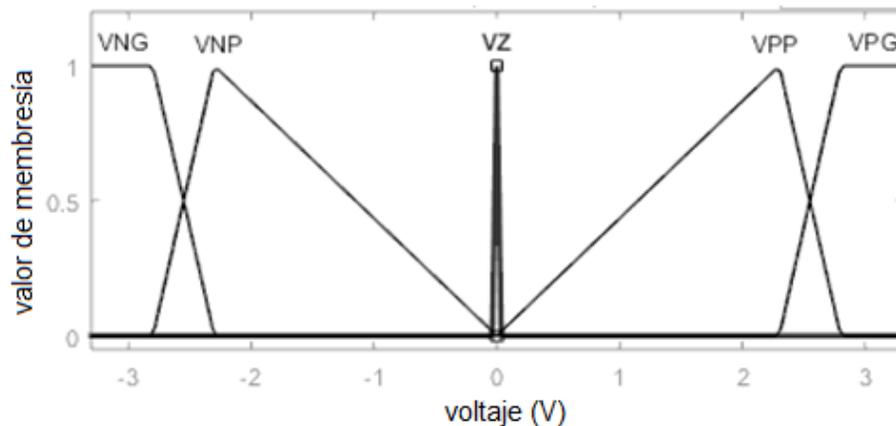
$$\mu_{VNP}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -2.8 \\ \frac{x+2.3}{0.5}, & -2.8 \leq x \leq -2.3 \\ \frac{0-x}{2.3}, & -2.3 \leq x \leq 0 \\ 0, & 0 \leq x \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{VZ}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -0.01 \\ \frac{x+0.01}{0.01}, & -0.01 \leq x \leq 0 \\ \frac{0.01-x}{0.01}, & 0 \leq x \leq 0.01 \\ 0, & 0.01 \leq x \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{VPP}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x-0}{2.3}, & 0 \leq x \leq 2.3 \\ \frac{2.8-x}{0.5}, & 2.3 \leq x \leq 2.8 \\ 0, & 2.8 \leq x \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{VPG}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2.3 \\ \frac{x-2.3}{0.5}, & 2.3 \leq x \leq 2.8 \\ \frac{3.3-x}{0.5}, & 2.8 \leq x \leq 3.3 \\ 0, & 3.3 \leq x \end{cases} \quad (13)$$

Una vez realizadas las funciones de membresía de las variables difusas de salida. Se representa la salida en la Figura 36.



**Figura 36** Salida Difusa del controlador difuso de posición

#### 4.4.3 Inferencia

Esta etapa utiliza las variables fusificadas, para determinar una conclusión a través de una base de reglas, es decir esta base determina la estrategia de control que será aplicada al sistema.

La base de reglas, se ha determinado de la siguiente manera. Tabla 12:

**Tabla 12**

*Base de reglas aplicadas al sistema*

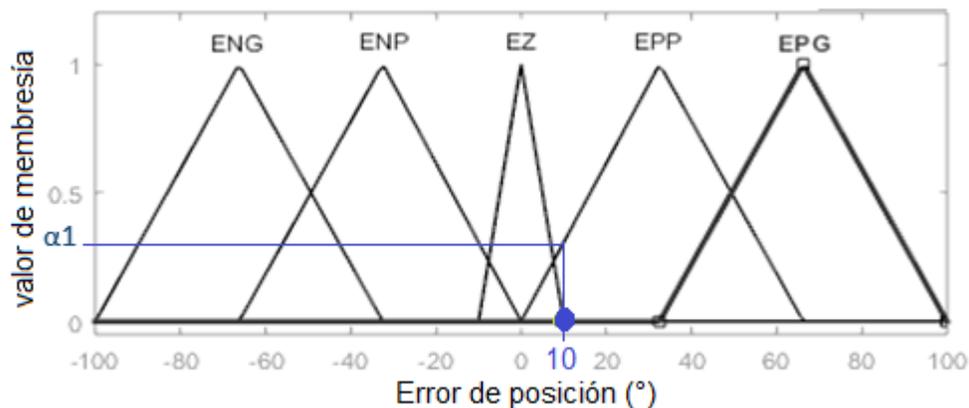
Error de posición	ENG	ENP	EZ	EPP	EPG
Velocidad	VNG	VNP	VZ	VPP	VPG

- Si error negativo grande (ENG), entonces voltaje negativo grande (VNG)
- Si error negativo pequeño (ENP), entonces voltaje negativo pequeño (VNP)

- Si error cero (EZ), entonces voltaje cero (VZ)
- Si error positivo pequeño (EPP), entonces voltaje positivo pequeño (VNPP)
- Si error positivo grande (EPG), entonces voltaje positivo grande (VPG)

#### 4.4.4 Defusificación

La conclusión que presenta la etapa de inferencia está representada en términos difusos. Esta etapa realiza un proceso matemático que convierte un conjunto difuso en un valor numérico real. Se utilizará la técnica por centro de gravedad, esta técnica utiliza la ecuación. A continuación, se muestra un ejemplo de defusificación para una entrada de  $10^\circ$ .

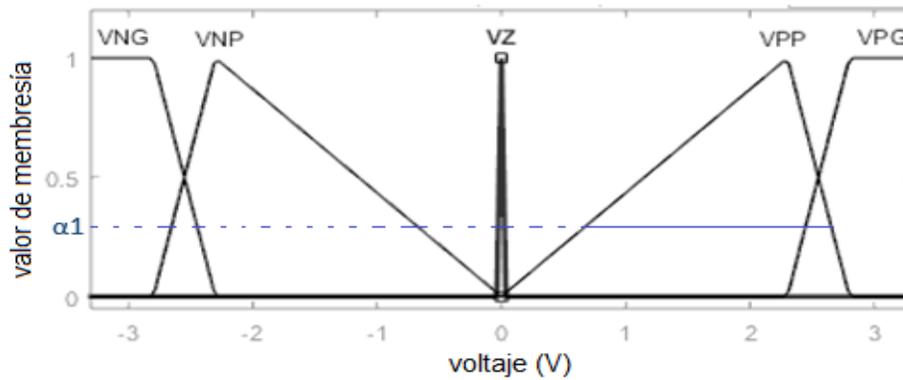


**Figura 37** Valor de membresía para una entrada de  $10^\circ$

En la Figura 37, el valor de membresía para una entrada de  $10^\circ$ , se encuentra en el conjunto difuso EPP, al reemplazar el valor de entrada en la ecuación 7. Se obtiene:

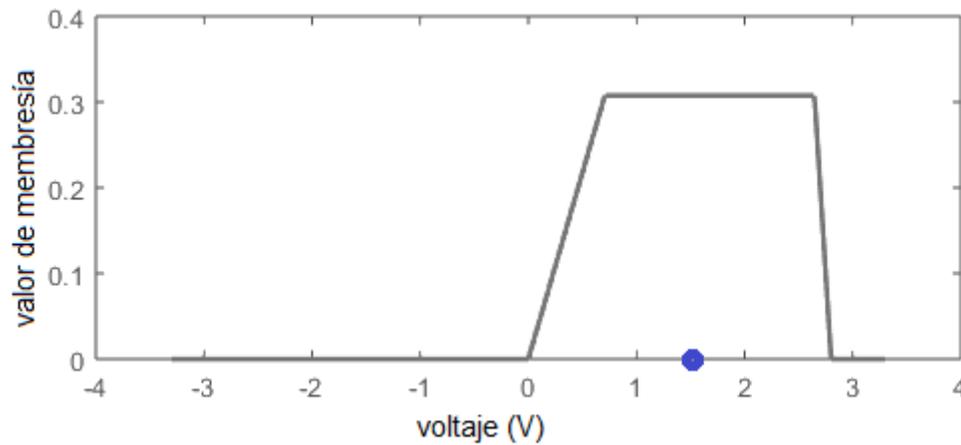
$$\mu_{EPP}(10) = 0.31$$

Este valor de membresía lo asignamos a los conjuntos difusos de salida correspondiente, de acuerdo a las reglas difusas a una entrada de EPP le corresponde una salida VPP.



**Figura 38** Asignación de valor de membresía

Con este valor de membresía se halla el centroide del conjunto difuso salida perteneciente a este valor. Como se observa en la Figura 39.



**Figura 39** Centroide en la salida con entrada de  $10^\circ$

Finalmente se aplica la Ecuación para la defusificación por el método del centroide

$$cg = \frac{\int_S y \cdot \mu_y(y) dy}{\int_S \mu_y(y) dy} \quad (14)$$

Donde:

$\mu_y$  : función de membresía del conjunto de salida

Y: variable de salida

S: dominio o rango de integración

De acuerdo a la Figura 37, la  $\mu_y = 0.31$ , la variable de salida es voltaje; por lo tanto, el dominio de integración es de 0 a 2.8 voltios, como se observa en la Figura 39. Reemplazamos en la Ecuación 14.

$$cg = \frac{\int_0^3 y \cdot (0.3) dy}{\int_0^3 (0.3) dy}$$

$$cg = 1.5$$

Así, para un valor de error de posición de  $10^\circ$  se obtiene un valor de defusificado de 1.5 V.

#### 4.5 Algoritmo de Control

A continuación, se explica el desarrollo del algoritmo de control. Para mejor entendimiento se mencionarán las librerías y funciones que fueron necesarias utilizar.

Librerías

- Fuzzy.h

Esta librería se ha requerido para incrustar modelos de lógica difusa en el programa, permitiendo declarar variables de entrada y salida, las reglas difusas y defusificación

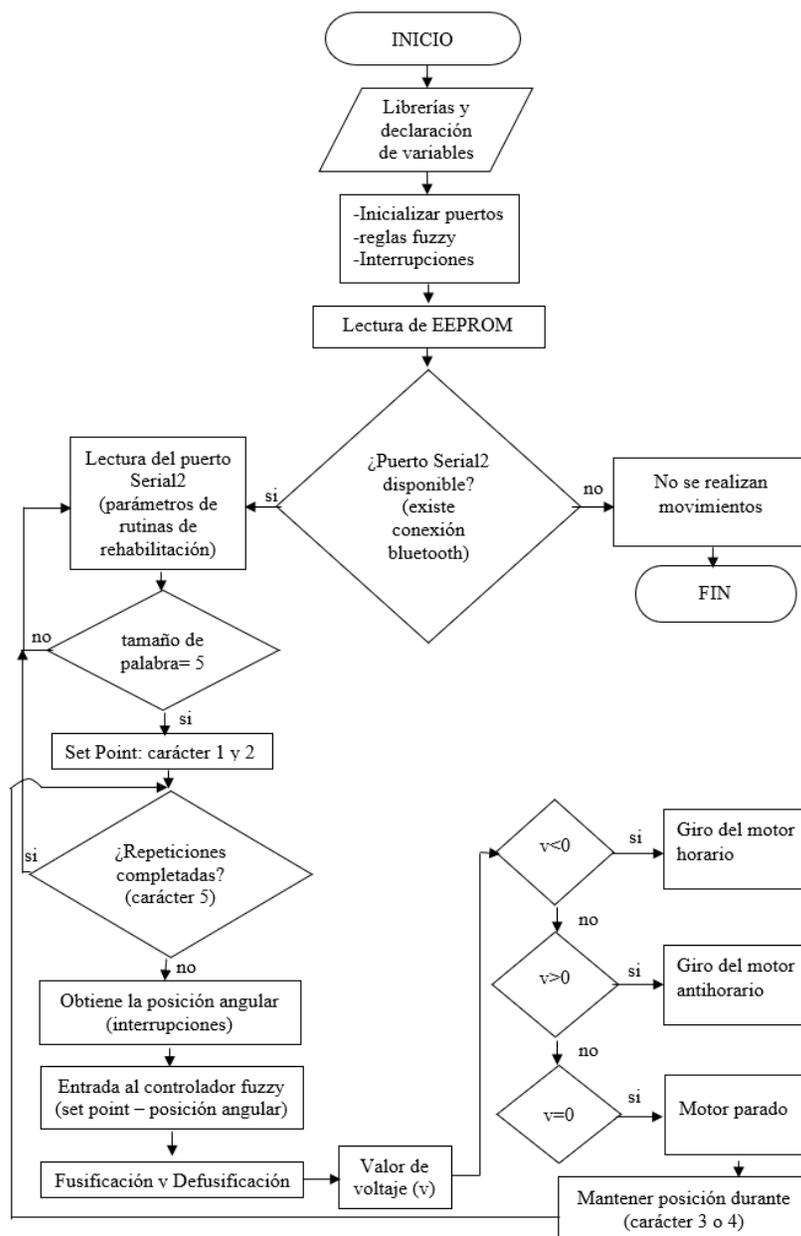
- EEPROM.h

Esta librería permite leer y escribir valores tipo byte en la memoria eeprom del microcontrolador, de esta se han utilizado los métodos read() y write(), los cuales reciben como parámetro la dirección de la memoria eeprom a ser leída o escrita. Se ha utilizado esta librería para crear un código en el programa que me permita guardar el ultimo valor de posición angular que presente el eje del motor, con el fin de tener ese valor como referencia para realizar los movimientos de extensión y flexión.

- Función Achange () y Bchange ()

Estas funciones han sido creadas para obtener la posición angular a partir de las señales de cuadratura A y B del encoder de cuadratura utilizado, para poder leer estas señales se han utilizados los pines 0 y 1 de interrupción del microcontrolador.

A continuación, en la Figura 40 se presenta un diagrama de flujo del programa.



**Figura 40** Diagrama de Flujo del programa

La Figura 40 se encuentra en el Anexo 1, se observa el diagrama de flujo del programa.

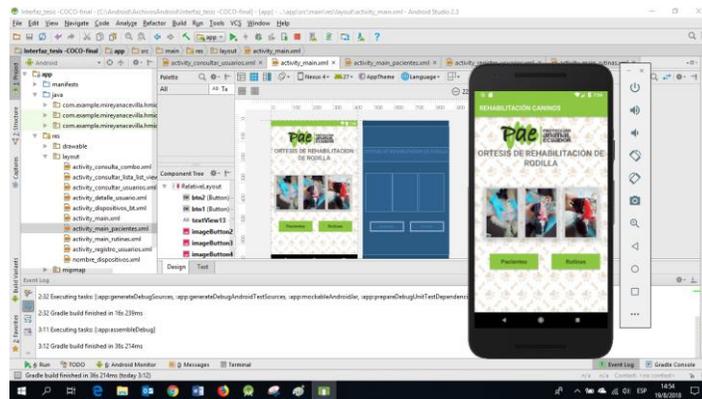
- Primero se declaran las librería y variables a usar, este algoritmo presenta las librerías: Fuzzy.h y EEPROM.h, las variables son declaradas de tal forma que permitan la manipulación de los sensores y actuadores.
- Después en el Setup ()
  - Se inicializan los puertos seriales, se han usado 2 puertos: uno para el manejo de las señales en cuadratura del encoder magnético, asignado como Serial1, el otro es usado para el manejo del módulo bluetooth, asignado como Serial2, ambos funcionan a 9600 baudios.
  - Se declaran los pines de entrada y salida
  - Se declara la interrupción, attachInterrupt (), para las funciones Achange () y Bchange ();
  - Se declaran las variables de entrada y salida del controlador difuso y las reglas difusas.
- En el void loop ()
  - Lectura de la memoria EEPROM de la Teensy, este valor es el punto de referencia para realizar los movimientos de extensión/flexión.
  - Permitir la comunicación inalámbrica, caso contrario no se realizará ningún movimiento por lo que considera una finalización del programa.
  - Set Point (), los datos recibidos de la aplicación son tomados como valores de referencia, siempre que la longitud del carácter sea igual a 5.

Cada carácter es definido como: A, B, C, D, E; A, B representan los ángulos de extensión y flexión respectivamente; C, D y E, representan el tiempo en extensión, tiempo en flexión y número de repeticiones respectivamente.

- Leer la posición angular, esta puede leerse en cualquier instante de tiempo para determinar el valor de entrada al controlador difuso
- Error de posición, es la diferencia entre el set point (A, B) y la posición angular, se realiza la fusificación.
- Defusificación, se obtiene el valor de voltaje como señal PWM que se aplicará al motor a través del DRV8838.
- Control del sentido de giro de motor, de acuerdo al voltaje (V) se manda un 0 si  $V < 0$  o 1 si  $V > 0$  o, al pin PHASE. Si voltaje es igual a cero el motor para.
- Leer C, D y E para mantener extensión o flexión durante 3, 5 o 7 segundos, de acuerdo a la palabra enviada desde la interfaz de usuario.

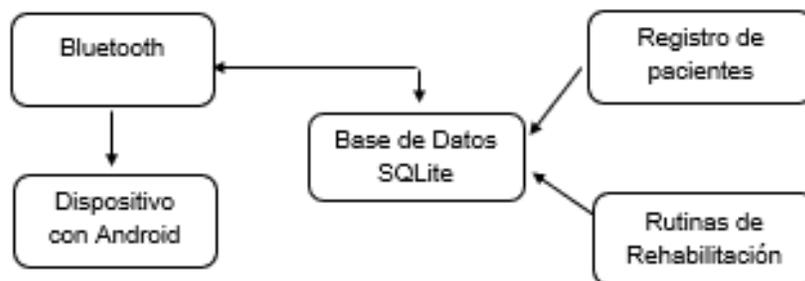
## CAPÍTULO V DESARROLLO DE LA INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuario ha sido realizada como una aplicación móvil desarrollada con el Software de programación Android Studio en la plataforma Android. Este software proporciona herramientas rápidas para la creación de aplicaciones en todos los tipos de dispositivos Android. Además, cuenta con una licencia gratuita y permite la edición de códigos de primer nivel, la depuración, las herramientas de rendimiento, un sistema de compilación flexible y un sistema de simulación virtual de dispositivos. Figura 41.



**Figura 41** Interfaz de Android Studio

La estructura de la aplicación móvil se muestra en la Figura 42 descrita mediante un diagrama de bloques, y tiene como objetivo principal realizar un registro y visualización de los datos de los pacientes caninos, así como de las rutinas de rehabilitación.



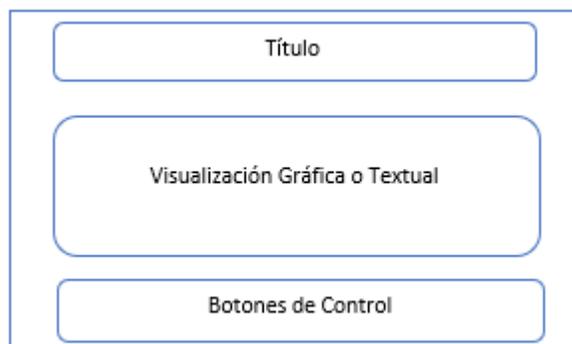
**Figura 42** Estructura de la Aplicación en Android

En la Figura 42 se observa que esta aplicación integra el manejo de la comunicación inalámbrica con bluetooth para el intercambio de datos con el sistema electrónico desarrollado. La información registrada sobre los pacientes y rutinas de rehabilitación se almacenan en una base de datos, para ser visualizada en el dispositivo y enviada al sistema electrónico, respectivamente.

Características de diseño de la aplicación:

- Requerimientos del usuario

La interfaz de usuario se ha desarrollado principalmente con el requerimiento de fácil manejo y comprensión. Esto se ha logrado en base al diseño de la distribución de la pantalla, de la siguiente manera:

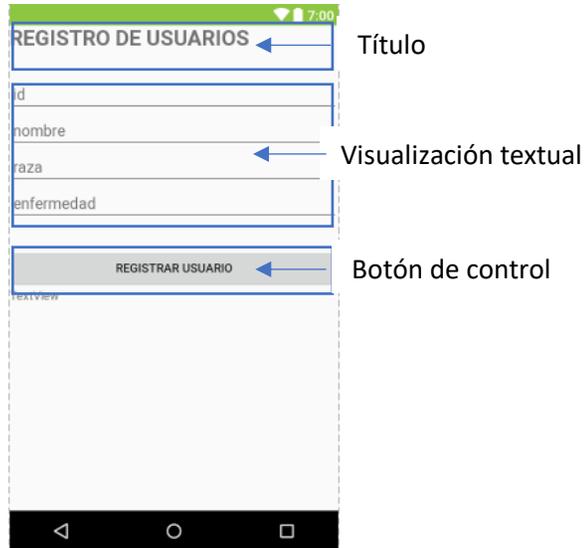


**Figura 43** Distribución de pantallas

Este diseño de la Figura 43 permite al usuario comprender y usar de manera fácil la interfaz debido a que lo que ve en pantalla se puede interpretar como una lectura, que se realiza desde arriba a la izquierda, hacia abajo y la derecha. De esta manera, el usuario puede visualizar primero el Título que le permite entender que es lo que se quiere realizar en ese instante, seguido del área de visualización ya sea gráfica o textual, en donde se interpreta el contenido de cada pantalla o el ingreso de datos que permite delimitar la información presente en cada pantalla, finalmente después

de la información se visualizan los botones de control, que permiten ejecutar la acción que cada botón muestra

Lo mencionado se puede visualizar en la siguiente Figura 44.



**Figura 44** Ventana realiza con la distribución de pantalla

A continuación, se explica el diseño de todas las ventanas que conforman la interfaz de usuario.



**Figura 45** Pantalla Principal

La Pantalla Principal, Figura 45 nos presenta una vista previa sobre la rehabilitación de rodilla canina, con dos opciones de navegación: una referente al paciente y otra a las rutinas de rehabilitación



**Figura 46** Pantalla para el registro de usuarios

La pantalla de la Figura 46, permite el ingreso de información del paciente canino. Cada recuadro en la pantalla cuenta con el tipo de información que se requiere el ingreso, esta información es requerida para ser almacenada en una base de datos y permita ejecutar rutinas de rehabilitación de acuerdo al identificador de cada paciente (id).

Seleccione una Opción

Item 1

Documento:  
Nombre:  
Raza:  
Enfermedad:

Rutinas:

Angulo de extension:	
Angulo de flexion:	
Tiempo en extension:	
Tiempo en flexion:	
Numero de repeticiones:	

CONTINUAR CON RUTINAS

**Figura 47** Pantalla para la visualización de información y rutinas

Al seleccionar la opción “REGISTRAR USUARIO”, se presenta la pantalla de la Figura 48. Esta pantalla sirve principalmente para la visualización de la información que se encuentra en la base de datos, podemos ver tanto la información del canino como las rutinas de rehabilitación realizadas en la sesión anterior.

RUTINAS DE REHABILITACIÓN

Seleccione el rango de movimiento articular:

EXTENSIÓN: FLEXIÓN:

110°  90°

120°  80°

Seleccione el tiempo de duración en :

EXTENSIÓN: FLEXIÓN:

3 segundos  3 segundos

5 segundos  5 segundos

7 segundos  7 segundos

Seleccione el número de repeticiones:

3 veces  5 veces  7 veces

UBICAR A 105° EMPEZAR FINALIZAR

**Figura 48** Pantalla para la selección de rutinas de rehabilitación

Al seleccionar la opción “CONTINUAR RUTINAS” o en la pantalla principal la opción “RUTINAS”, se despliega la pantalla de la Figura 48 se puede seleccionar el ángulo de flexión y extensión deseado, tiempo de duración para cada movimiento y el número de repeticiones.

### **5.1 Comunicación bluetooth**

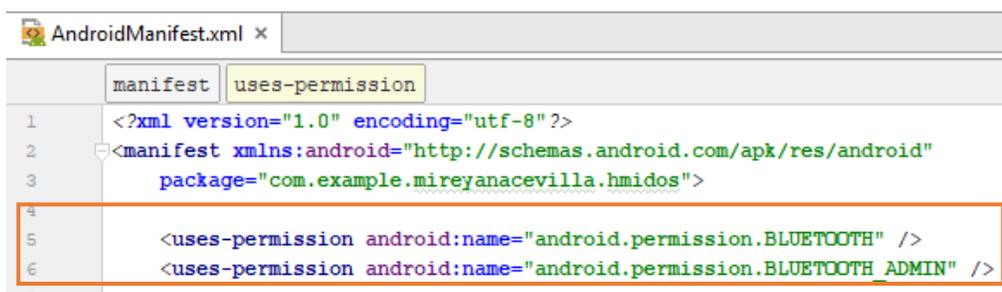
La plataforma de Android incluye compatibilidad para comunicaciones de red Bluetooth. Se tiene acceso a la funcionalidad Bluetooth a través de las API de Bluetooth de Android. Estas API permiten que las aplicaciones se conecten de forma inalámbrica a otros dispositivos Bluetooth, lo que permite funciones inalámbricas punto a punto y multipunto. (Developers,2018)

Para establecer la comunicación a través de bluetooth entre el dispositivo Android y el módulo bluetooth se deben llevar a cabo 4 tareas principales usando las API de Bluetooth, estas son: configuración de bluetooth, búsqueda de dispositivos sincronizados o disponibles en el área local, conexión con dispositivos y transferencia de datos entre dispositivos.

A continuación, se resumen las clases e interfaces que se necesitan para crear conexiones bluetooth punto a punto (Developers,2018).

- `BluetoothAdapter`: gracias a esto, se pueden ver otros dispositivos bluetooth.
- `BluetoothDevice` permite solicitar una conexión con un dispositivo remoto mediante un `BluetoothSocket`.
- `BluetoothSocket`: permite que una aplicación intercambie datos con otro dispositivo bluetooth a través de `InputStream` y `OutputStream`.

Para poder usar las funciones de bluetooth en la aplicación se debe declarar el permiso de bluetooth en el archivo `AndroidManifest`, como se observa en la Figura 49.



*Figura 49* Permisos para usar las funciones de bluetooth

## 5.2 Base de datos SQLite

La Base de Datos SQLite es una de las herramientas que Android proporciona para almacenar y consultar datos estructurados. Esta base de datos ofrece una ventaja en el desarrollo de esta aplicación ya que una vez creada la base de datos pudo ser accesada mediante su nombre desde cualquier otra “clase” dentro de la aplicación.

A continuación, se muestran los pasos seguidos para crear una base de datos SQLite.

- Crear una subclase de SQLiteOpenHelper y en ella se sobre escribe el método onCreate ().

Figura 50.

```
public class ConexionSQLiteHelper extends SQLiteOpenHelper {

    public ConexionSQLiteHelper(Context context, String name,
        SQLiteDatabase.CursorFactory factory, int version) {
        super(context, name, factory, version);
    }

    @Override
    public void onCreate(SQLiteDatabase db) {
        db.execSQL(Utilidades.CREAR_TABLA_USUARIO);
    }

    @Override
    public void onUpgrade(SQLiteDatabase db, int versionAntigua, int versionNueva) {
        db.execSQL("DROP TABLE IF EXISTS "+Utilidades.TABLA_USUARIO);
        onCreate(db);
    }
}
```

*Figura 50* Creación de la base de datos "tabla de usuarios"

- Después se crea una clase pública para insertar y manipular las tablas y los datos que conformarán la base de datos, como se observa en la Figura 51.

```

public class Utilidades { //clase pública Utilidades

    //Datos que conformarán la base de datos " usuario"
    public static final String TABLA_USUARIO="usuario";
    public static final String CAMPO_ID="id";
    public static final String CAMPO_NOMBRE="nombre";
    public static final String CAMPO_RAZA="telefono";
    public static final String CAMPO_ENFERMEDAD="enfermedad";
    public static final String CAMPO_RUTINAS="rutinas";
    public static final String CAMPO_RUTINAS1="rutinas1";
    public static final String CAMPO_RUTINAS2="rutinas2";
    public static final String CAMPO_RUTINAS3="rutinas3";
    public static final String CAMPO_RUTINAS4="rutinas4";

    public static final String CREAR_TABLA_USUARIO="CREATE TABLE " +
        "+"+TABLA_USUARIO+" ("+CAMPO_ID+" " +
        "INTEGER, "+CAMPO_NOMBRE+" TEXT, "+CAMPO_RAZA+" TEXT,"
        "+CAMPO_ENFERMEDAD+" TEXT,"+CAMPO_RUTINAS+" TEXT,"+CAMPO_RUTINAS1
        +" TEXT,"+CAMPO_RUTINAS2+" TEXT,"+CAMPO_RUTINAS3+" TEXT,"
        "+CAMPO_RUTINAS4+" TEXT) ";
}

```

**Figura 51** Creación de la tabla "usuario" en la clase Utilidades

- Para leer y escribir en la base de datos se crea una clase pública, implementado los campos de la tabla con métodos get () y set (). Figura 52.

```

public class Usuario implements Serializable{
    private Integer id;
    private String nombre;
    private String raza;
    private String enfermedad;
    private String rutinas;
    private String rutinas1;
    private String rutinas2;
    private String rutinas3;
    private String rutinas4;

    public Usuario(){

    }

    public Integer getId() { return id; }

    public void setId(Integer id) { this.id = id; }

    public String getNombre() { return nombre; }

    public void setNombre(String nombre) { this.nombre = nombre; }

    public String getRaza() {return raza;}

    public void setRaza(String raza) { this.raza = raza; }
}

```

**Figura 52** Clase para leer y escribir en la base de datos "usuario"

- Para manipular la base de datos se crea una conexión mediante la clase ConexionSQLiteHelper, así este llamado puede ser implementado en cualquier función ya sea ingresar, borrar, información de la base de datos. La Figura 53 muestra una ventana donde se pueden visualizar valores almacenados en la base de datos, de uno de los pacientes registrados.

REHABILITACIÓN CANINOS

Seleccione una Opción

2 - Lassie ▼

Documento: 2  
Nombre: Lassie  
Raza: San bernardo  
Enfermedad: Displacia

Rutinas:

Ángulo de extensión:	150
Ángulo de flexión:	80
Tiempo en extensión:	3 segundos
Tiempo en flexión:	3 segundos
Numero de repeticiones:	3

CONTINUAR CON RUTINAS

**Figura 53** Visualización de datos almacenados en la base de datos SQLite

## CAPÍTULO VI

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 6.1 Pruebas y Resultados del Controlador Difuso

En este apartado se muestran los resultados del controlador difuso aplicado al sistema. La base para la definición de los conjuntos difusos de salida ha sido realizada en base al torque requerido para realizar los movimientos de extensión flexión. El torque se determinó utilizando el sensor de corriente ASC712 de 5A y con este se obtuvieron datos de voltaje, corriente, torque y rpm.

Ecuación del torque:

$$T = P/rpm = (v * i/rpm) \quad (15)$$

##### 6.1.1 Sistema en lazo cerrado

En este sistema, se generan los parámetros de medición con el prototipo ubicado en el miembro posterior del canino. Aquí se determinó el valor de voltaje para el cual la salida del controlador difuso se obtiene un mínimo torque de 0.065 N.m; mismo que permitirá realizar los movimientos de extensión-flexión.

**Tabla 13**

*Parámetros de respuesta al sistema con carga*

<b>Voltaje Salida control Difuso</b>	<b>Voltaje a la salida del DRIVER8838</b>	<b>Corriente</b>	<b>Torque con carga</b>	<b>RPM con carga</b>
<b>1</b>	2.51	0.05	0.061	2.05
<b>1.5</b>	2.50	0.12	0.120	2.49
<b>2</b>	2.5	0.02	0.016	3.06

Con los parámetros mostrados en la Tabla 13, se observa el comportamiento del control difuso:

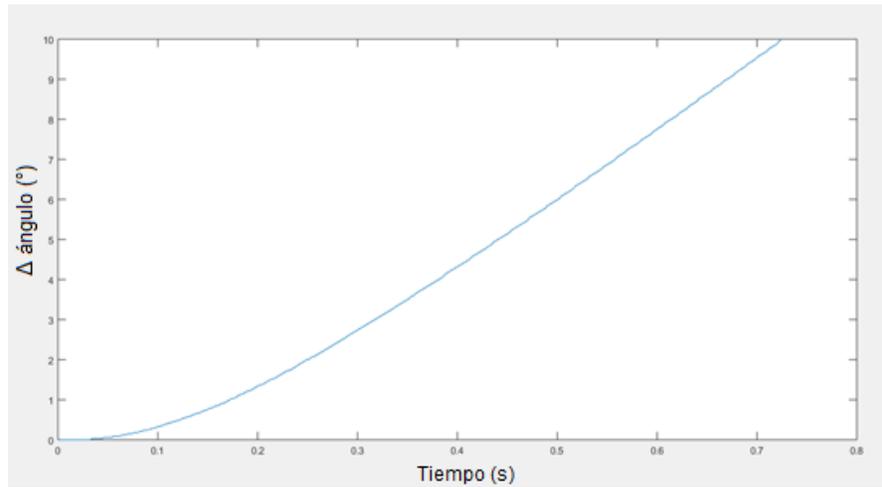
- Con voltaje de salida del control difuso menor a 1, no se obtiene el torque suficiente que requiere el sistema.
- Con voltajes mayores a dos, tiene suficiente torque hasta mayor al requerido
- Finalmente, con una velocidad mayor su comportamiento es similar a un estado sin carga a que a mayor voltaje, el motor no consume corriente para realizar los movimientos.
- Sin embargo, para un voltaje de salida de 1.5 presenta una mejor respuesta, en donde se puede visualizar mediante el parámetro de torque que supera al requerido pero que mantiene una velocidad de movimiento adecuada para el sistema.

### **6.1.2 Respuesta del Sistema**

A continuación, se presenta la respuesta del sistema en cuanto a posición angular, se grafica la trayectoria del eje del motor a partir del ángulo de referencia de  $100^\circ$ , el objetivo es demostrar el correcto funcionamiento del controlador difuso al obtener las respuestas del sistema para las posiciones angulares que intervienen en el proceso de rehabilitación, estas posiciones son de  $110^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $80^\circ$ , como se observa en la Figura 54, Figura 55, Figura 56 y Figura 57 respectivamente.

- Posición angular de  $110^\circ$

Se realiza la respuesta para un ángulo de  $10^\circ$  debido a que el prototipo presenta un ángulo de referencia de  $100^\circ$ , en este caso este ángulo representa un ángulo de extensión de  $110^\circ$ .

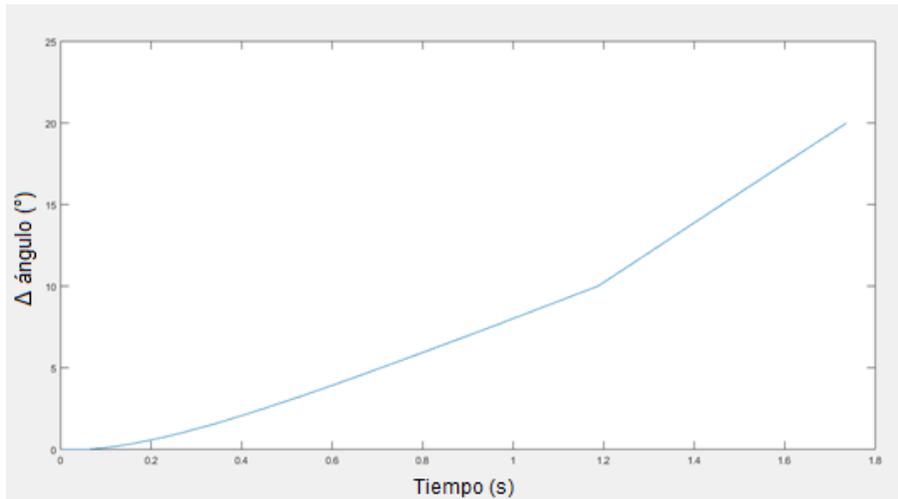


**Figura 54** Respuesta del sistema de control para  $110^\circ$

El ángulo al que llego es de  $9.8^\circ$  es decir un error del 2%, tiene un tiempo de respuesta de alrededor de 0.7 segundos. El porcentaje de error se considera aceptable por la fisiatra veterinaria y el tiempo de respuesta es el esperado; de acuerdo a la Tabla 13 con un voltaje de 1.5 se realizan 2.49 revoluciones por minuto, este valor representa 14,94 grados en un segundo; es decir que en 0.7 segundos llega a un ángulo de aproximadamente  $10.4^\circ$ .

- Posición angular de  $120^\circ$

Se presenta la respuesta para un ángulo de  $20^\circ$ , este ángulo representa un ángulo de extensión de  $120^\circ$ .

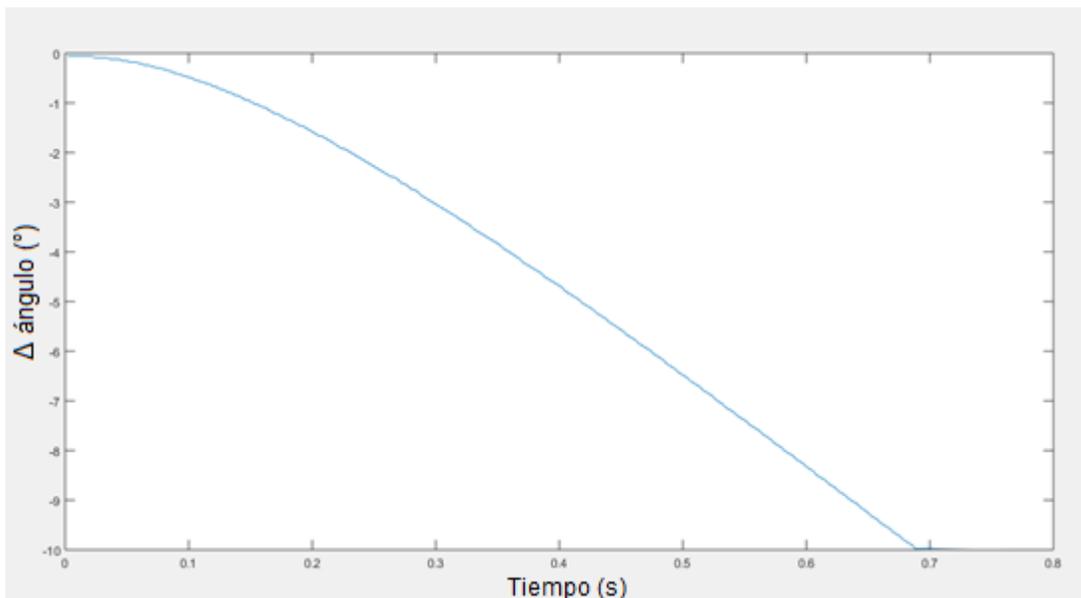


**Figura 55** Respuesta del sistema de control para  $120^\circ$

En la Figura 55 la respuesta del sistema de control, llegó al ángulo deseado, presentando un error de 0%, sin embargo, se han realizado 5 pruebas y cada una varía, entre 19.7 y 20.4, lo que genera un error de posición máximo del 2%, que se encuentra en un rango aceptable de error.

- Posición angular de  $90^\circ$

Se presenta la respuesta para un ángulo de  $-10^\circ$ , este ángulo representa un ángulo de flexión de  $90^\circ$ .

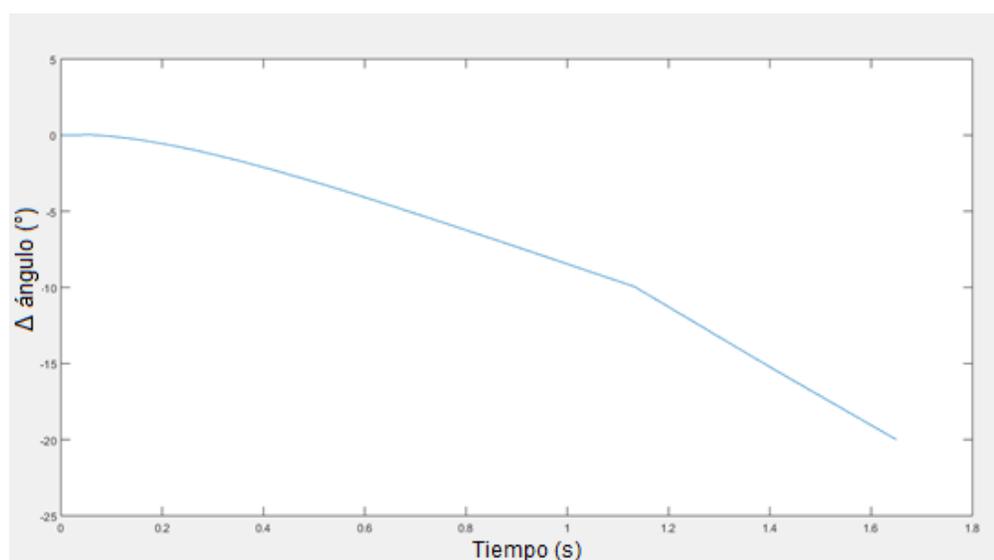


**Figura 56** Respuesta del sistema de control para  $90^\circ$

En la Figura 56 se obtiene un error de posición del 0% y un tiempo de respuesta de aproximadamente 0.7 segundos similar al obtenido en la Figura 54, debido a que se presenta el mismo desplazamiento angular.

- Posición angular de  $80^\circ$

Se presenta la respuesta para un ángulo de  $-20^\circ$ , este ángulo representa un ángulo de flexión de  $80^\circ$ , considerando el ángulo de referencia de  $100^\circ$ .

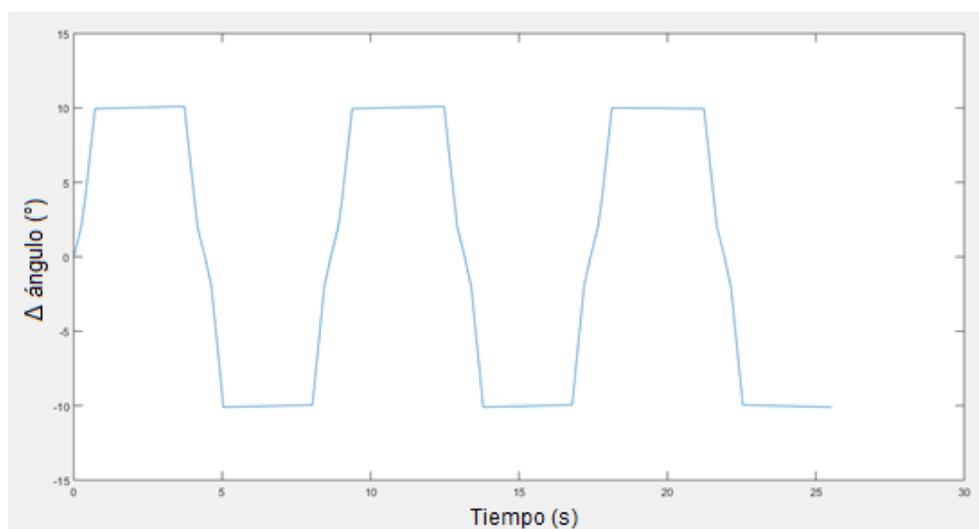


**Figura 57** Respuesta del sistema de control a  $80^\circ$

La respuesta de la Figura 57 presenta un error de posición de aproximadamente 0%. El tiempo de respuesta es de aproximadamente 1.7 segundos, similar al de la Figura 55. Las respuestas del sistema de control en lazo cerrado no se observan oscilaciones, que normalmente deberían presentarse porque se realiza una parada instantánea de 1.5 V a 0V, este comportamiento se debe a la fricción que presenta la pieza de acople y las bisagras de la ortesis.

A continuación, se presenta la respuesta del sistema a los parámetros de las rutinas de rehabilitación enviados desde la interfaz gráfica, para esta prueba se han utilizado los siguientes parámetros:

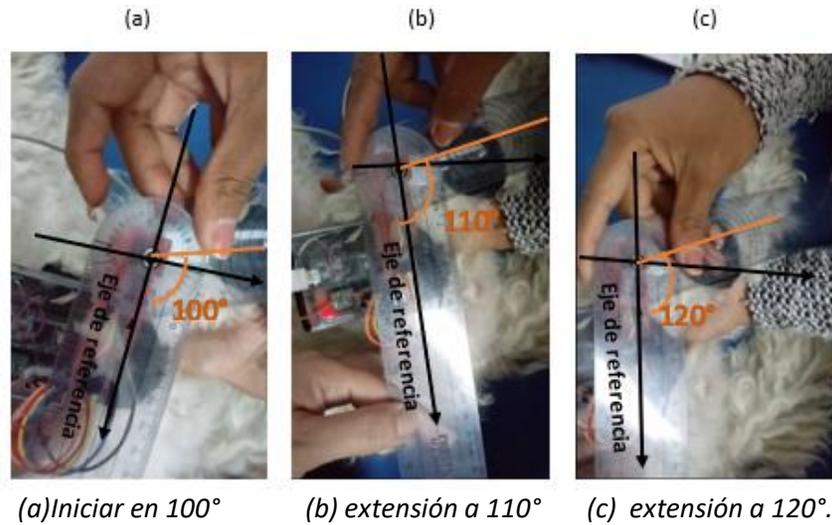
- Ángulo de extensión:  $110^\circ$
- Ángulo de flexión:  $90^\circ$
- Tiempo de duración en extensión: 3 segundos
- Tiempo de duración en flexión: 3 segundos
- Número de repeticiones: 3



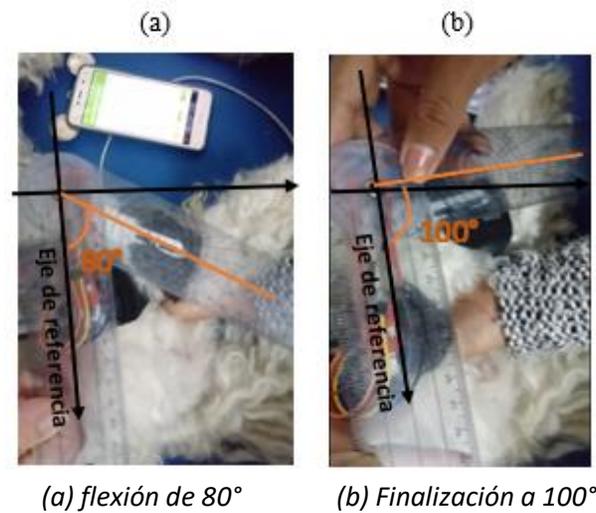
**Figura 58** Respuesta del sistema a los parámetros de rutinas de rehabilitación

En la Figura 58 presenta un tiempo de respuesta de aproximadamente 25 segundos, este es el tiempo es el esperado, considerando los tiempos de respuesta obtenidos en la Figura 51 y Figura 53 a ángulos de  $10^\circ$  (extensión  $110^\circ$ ) y  $-10^\circ$  (flexión  $90^\circ$ ), respectivamente. Se han realizado 3 pruebas y cada una varía en la posición angular para el movimiento de extensión, entre  $9.6^\circ$  y  $10.4^\circ$ ; y para el movimiento de flexión, entre  $-9.6^\circ$  y  $-10.4^\circ$ , lo que genera un error de posición máximo del 4%, que se encuentra en un rango aceptable de error para la fisiatra veterinaria.

A continuación, se presentan imágenes de la posición angular como respuesta del sistema de control, medida con un goniómetro. Figura 59 y Figura 60.



**Figura 59** Movimientos de extensión



**Figura 60** Movimientos de flexión

El diseño de este controlador será suficiente para recuperar un porcentaje de movilidad entre el 10 y 15%, debido a que en el proceso de pruebas de funcionamiento, el sistema de control fue probado con un canino que presentaba un estado tranquilo, sin embargo no tenía ningún tipo de patología relacionada con la rodilla, el estado de sus miembros posteriores podría ser comparado

al de un paciente que ha recuperado hasta el 15% de su movilidad, partiendo de un estado grave de movilidad, el factor de recuperación ha sido valorado por la fisiatra, quien a través de la experiencia considera que este porcentaje de recuperación será realizado en un tiempo aproximado de un mes, con 8 sesiones. Estas sesiones cuentan con un cierto número de repeticiones y tiempo de espera para mantener la flexión y extensión, considerándose a este porcentaje como la primera fase de recuperación.

## **6.2 Resultados del Sistema Mecánico**

Los resultados del Sistema Mecánico pueden ser validados a partir de los resultados del controlador difuso, donde se observa que los movimientos son realizados de acuerdo a los requerimientos, con esto se entiende que existe una compatibilidad física entre la ortesis y el paciente canino, gracias a la pieza mecánica de acople diseñada.

## **6.3 Pruebas y Resultados del Sistema de Comunicación y Aplicación Android**

Las pruebas realizadas en este apartado permiten verificar las diferentes funcionalidades de cada uno de los módulos que contiene la aplicación, con el fin de verificar que la fisiatra pueda realizar el proceso de rutinas de rehabilitación de forma correcta y precisa.

Previo al manejo de la aplicación se han mostrado indicaciones.

- Leer todo lo que contenga cada ventana, para comprender que se debe hacer en cada una de ellas.
- Los recuadros al final de la aplicación ejecutan la acción mostrada en él.
- Ingresar la información que se solicite en cada recuadro de una ventana,

Para obtener los resultados se ha realizado un Formato de validación del funcionamiento de la aplicación móvil realizada, mostrada en el ANEXO E.

A continuación, se presentan las encuestas realizadas.

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	Arctico Escobar		
Institución:	ESPE		
Profesión:	Estudiante		
Pregunta	Si	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación, ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información, ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas, ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth, ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar, ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100°" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

**Figura 61** Respuestas a la encuesta N°1

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	Estefanía Chorro		
Institución:	ESPE		
Profesión:	Estudiante		
Pregunta	Si	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación, ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información, ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas, ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth, ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar, ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100°" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

**Figura 62** Respuestas a la Encuesta N°2

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	Samantha García		
Institución:	Universidad Metropolitana		
Profesión:	Estudiante		
Pregunta	Si	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación. ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información. ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas. ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth. ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar. ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100cm" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

**Figura 63** Respuestas a la Encuesta N°3

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	Marco Gualotuna		
Institución:	ESPE		
Profesión:	estudiante		
Pregunta	Si	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación. ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información. ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas. ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth. ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar. ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100cm" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

**Figura 64** Respuestas a la Encuesta N°4

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	Evelyn Maldonado		
Institución:	Protección Animal Ecuador		
Profesión:	Fisiatra Veterinaria		
Pregunta	Si	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación, ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información, ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas, ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth, ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar, ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "¿REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "¿EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100cm" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

**Figura 65** Respuestas a la Encuesta N°5

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	Roberto Chávez		
Institución:	Tecnológico Superior "Cardenero"		
Profesión:	Estudiante		
Pregunta	Si	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación, ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información, ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas, ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth, ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar, ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "¿REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "¿EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100cm" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

**Figura 66** Respuestas a la Encuesta N°6

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	JEFFERSON OYASATO		
Institución:	INSTITUTO "SUCAS"		
Profesión:	ESTUDIANTE		
Pregunta	Si	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación, ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información, ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas, ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth, ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar, ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "¿REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "¿EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100°" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

**Figura 67** Respuestas a la Encuesta N°7

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	ALEJANDRA VARGAS		
Institución:	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		
Profesión:	ESTUDIANTE		
Pregunta	Si	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación, ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información, ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas, ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth, ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar, ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "¿REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "¿EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100°" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

**Figura 68** Respuestas a la Encuesta N°8

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	A. BLASCO CORDERO		
Institución:	Unidad Central		
Profesión:	FISIÓLOGO		
Pregunta	Sí	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación, ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información, ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas, ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth, ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar, ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "¿REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "¿EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100cm" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

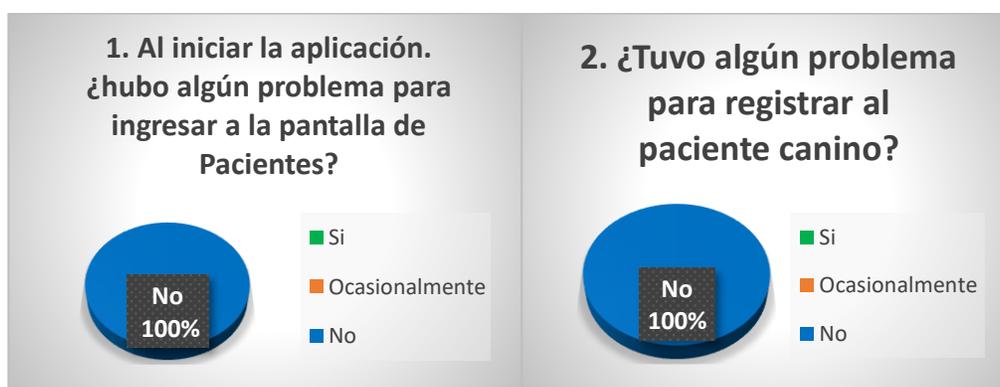
**Figura 69** Respuestas a la Encuesta N°9

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA CANINA			
Nombre:	Santiago Tamayo		
Institución:	ESPE		
Profesión:	FISIÓLOGO		
Pregunta	Sí	Ocasionalmente	No
1. Al iniciar la aplicación, ¿hubo algún problema para ingresar a la pantalla de Pacientes?			X
2. ¿Tuvo algún problema para registrar al paciente canino?			X
3. ¿Tuvo algún problema consultar las rutinas realizadas?			X
4. En la pantalla de Consulta de Información, ¿Al seleccionar una opción muestra la información correcta?	X		
5. Al ingresar a la opción Rutinas, ¿Se presenta un aviso de Activar Bluetooth?	X		
6. Cuando permite la activación de bluetooth, ¿Se muestra una lista de los dispositivos vinculados?	X		
7. Después de seleccionar el dispositivo al que se desea conectar, ¿Aparece la pantalla de "REHABILITACIÓN DE RUTINAS"?	X		
8. ¿Al realizar las acciones indicadas en la pantalla "¿REHABILITACIÓN DE RUTINAS" y presiona el botón "¿EMPEZAR", los movimientos son realizados por la ortesis?	X		
9. ¿El botón "UBICAR A 100cm" ubica a la ortesis en esa posición?	X		
10. ¿Al presionar "FINALIZAR" se desactiva la conexión bluetooth y se guardan las rutinas de rehabilitación?	X		

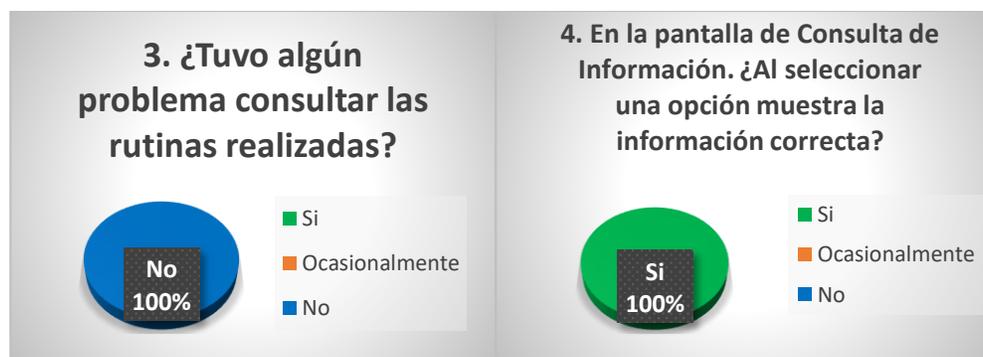
**Figura 70** Respuestas a la Encuesta N°10

### 6.3.1 Análisis de Resultados

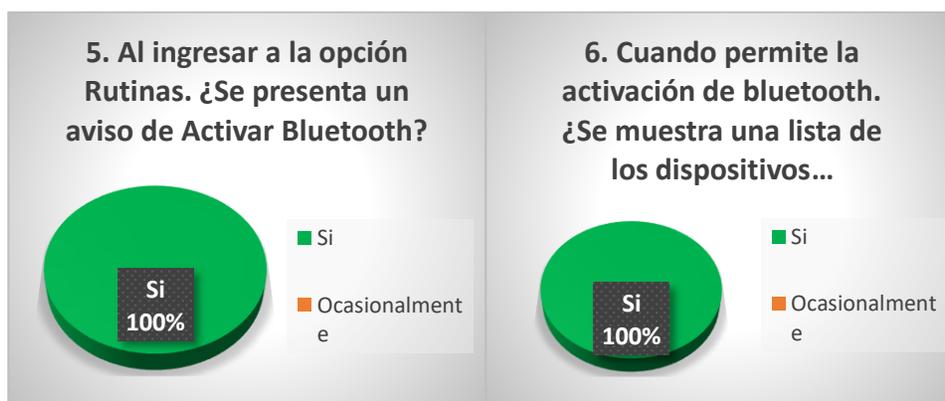
Se realiza un análisis de las respuestas a cada pregunta del formulario, para evaluar el desempeño de la aplicación móvil. Se han realizado un total de 10 encuestas. Para determinar el correcto desempeño de la aplicación móvil, se espera que las repuestas de la pregunta 1 a la 3 sea “NO” y el resultado para el resto de preguntas sea “SI”.



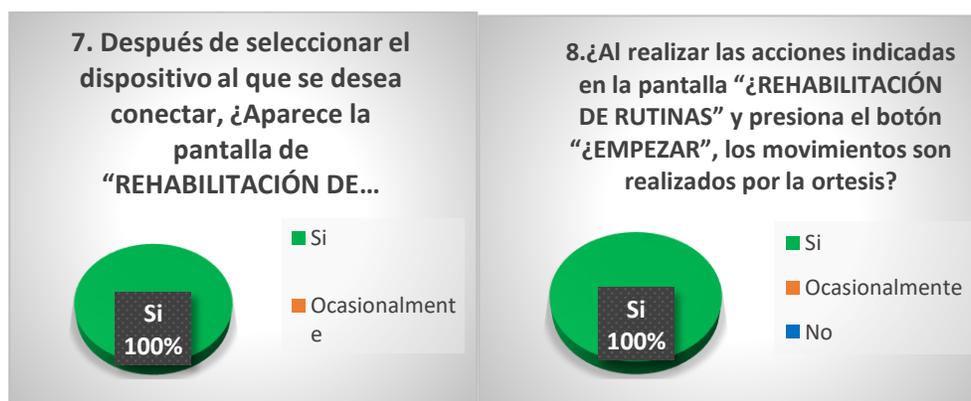
*Figura 71 Resultado a las preguntas 1 y 2*



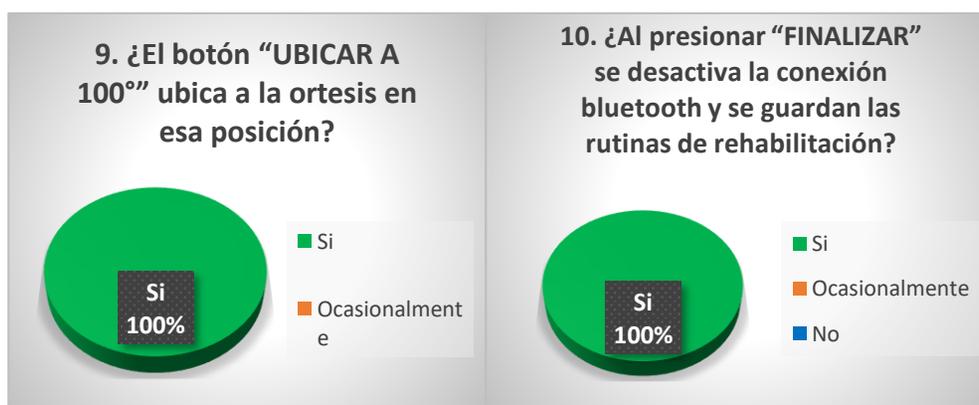
*Figura 72 Resultado a las preguntas 3 y 4*



*Figura 73* Resultado a las preguntas 5 y 6



*Figura 74* Resultado a las preguntas 7 y 8



*Figura 75* Resultado a las preguntas 9 y 10

De acuerdo a las gráficas mostradas en la Figura 71 a la Figura 75, se ha obtenido el resultado esperado para determinar que la aplicación presenta una correcta funcionalidad.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES

- Se demostró que el control difuso cumple satisfactoriamente, en el control de posición del motor debido a que en las gráficas de respuestas al sistema de control con carga se ha obtenido un error de ángulo de máximo 4%, en el rango de movimiento articular limitado para 80° como mínimo en flexión y 120° como máximo en extensión.
- El uso de una pieza de acople entre el actuador y la ortesis ha sido un punto clave para que se pueda desarrollar el control de posición difuso, debido a que el movimiento que realiza el eje del motor es transmitido a la ortesis sin provocar errores de posición; aunque por lo contrario aportó con la respuesta del controlador en el que no se presentan oscilaciones, esto se asume que es debido a la fricción entre la pieza de acople y la gama de bisagras de la ortesis.
- La selección correcta de los elementos que forman parte del diseño electrónico del controlador ha facilitado su implementación física, evitando el uso de alimentación externa. Cada elemento ha podido ser alimentado con potencia suministrada por la teensy 3.2.
- El conocimiento sobre control difuso, basado en la investigación y experimentación ha permitido su diseño en base a los requerimientos del sistema. En este proyecto se considera como principal requisito de funcionamiento, el torque necesario para realizar los movimientos de extensión y flexión, en base a esto se han definido los conjuntos difusos de entrada y salida, obtenido como resultado el esperado.

- La interfaz de usuario creada en Android Studio ha sido de fácil manejo para el usuario; comprobado y ajustado para el uso de la fisiatra de PAE quien ha podido manipular sin problema cada una de las ventanas que presenta esta interfaz.
- El uso del goniómetro ha sido de gran utilidad para determinar la precisión de los ángulos de extensión y flexión deseados. Durante la etapa de pruebas se ha medido el ángulo que presenta la ortesis con el goniómetro y se ha comprobado que el error máximo es del 2%, mayor al obtenido en la simulación , un factor implicado en este error, sería la gama de bisagras que la ortesis presenta en su estructura, lo que permite permanecer en una posición fija a lo que se encuentra cerca del articulación de la rodilla, pero donde empieza el hueso tibial del canino, presenta una pieza que permite mover la bisagra ubicada en el hueso tibial alrededor de 2° .

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alguacil IM. (2009). *Plataformas vibratorias: bases neurofisiológicas, efectos fisiológicos y aplicaciones terapéuticas*. Rev. Archivos de Medicina del Deporte. Vol.XXVI. Madrid.
- Animal Ortho Care. (2018). *Dog Knee Brace*. Obtenido de:  
<https://animalorthocare.com/products/dog-ccl-stifle-knee-brace>
- Breval. (nd). *Ligamentos cruzados caninos*. Obtenido de:  
<http://www.uco.es/organiza/departamentos/anatomia-y-anat-patologica.htm>
- Bodero D. [Comunicación personal]. 20 de octubre de 2017.
- Bodero D. y Figueroa P.(2011). *Rehabilitación mediante fisioterapia para pacientes caninos con síndrome neuropático en la Univesidad de las Américas*. Quito-Ecuador.
- Carmichael S. (2009). *Entender el control de la Osteoartritis en perros*. Proceedings of the Southern European Veterinary Conference 2-4 de Octubre. Barcelona, España.
- Carlidge H. (2014). *Evidence for the use of post-operative physiotherapy after surgical repair of the cranial cruciate ligament in dogs*. Obtenido de:  
[http:// www.theveterinarynurse.com/.../article.com](http://www.theveterinarynurse.com/.../article.com)
- Castellanos M. (2015). *La masoterapia en el tratamiento rehabilitador de las enfermedades reumáticas*. Obtenido de:  
[http:// artricer.org/.../lamasoterapia-en-el-tratamiento-rehabilitador](http://artricer.org/.../lamasoterapia-en-el-tratamiento-rehabilitador)
- Cortés S y Duarte A. (2013). *Ortesis activa para la rehabilitación de lesión medular de miembro inferior*. México, D.F.
- Cory J. (2010). *Condiciones neurológicas en perros*. Proceedings of the Southern European Veterinary Conference. Barcelona, España.
- Delgado MT. (2011). *Crioterapia*. Obtenido de:  
<http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/crioterapia.pdf>.
- Developers. (2018), *Android Studio*. Obtenido de:  
<https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth?hl=es-419>
- Dyke. (2011). *¿En qué consiste la rehabilitación veterinaria?*. Proceedings of the Southern European Veterinary Conference Sep.29-2 Oct. Barcelona-España.

- Drum M. (2014). *Small/Companion Animal Session*. Summer Convention Proceedings. Jun 19-2. Nebraska.
- Formenton. (2011). *Physical therapy in dogs: applications and benefits*. Veterinary Focus Vol. 21. N° 2. Sao Paulo Brazil.
- Fossum. (2009). *Cirugía en pequeños animales*. 3° ed. Editorial Elsevier. España
- Franco J. (2015). *Manual de guía clínica de rehabilitación en luxación de rotula*. Obtenido de: [http:// iso9001.inr.gob.mx/Descargas/iso/doc/MGDM-16.pdf](http://iso9001.inr.gob.mx/Descargas/iso/doc/MGDM-16.pdf)
- Garza A. (2016). *Manual de rehabilitación y fisioterapia del miembro pelviano en perros*. México, D.F.
- Gómez. (2015). *Ondas de choque extracorpóreas en el tratamiento de la fractura por estrés de tibia*. Presentación de un caso. Obtenido de: [http:// www.redalyc.org/pdf/1800/180037139010.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/1800/180037139010.pdf)
- Grimm K, Lamont L, Tranquilli W. Tr. Juan Roberto Palacios Martínez. (2013). *Manual de anestesia y analgesia en pequeñas especies*. 1° ed. Editorial El Manual Moderno.
- Gutierrez R., Niño P., Aviles O., Vanegas F. y Duque J. (2007). *Exoesqueleto mecatrónico para rehabilitación motora*. 8° congreso iberoamericano de ingeniería mecánica , Cusco.
- Lafuente P. (2012). *Después de la cirugía de trauma: ¿Y ahora qué?* .Proceedings of the Southern European Veterinary Conference and Congreso Nacional de AVEPA 18-21 de Octubre Barcelona, España.
- Mabel G. (2015). *Los diferentes tipos de electroestimulación en el paciente con dolor*. Obtenido de: [http://www.veterinariosenweb.com/campus/cdvl/tipos\\_electroestimulacion.pdf](http://www.veterinariosenweb.com/campus/cdvl/tipos_electroestimulacion.pdf)
- Marcellin D, Levine D, Millis D. (2015). *Clinics Review Articles*. Veterinary clinics of North America: Small Animal Practice. Rehabilitation and Physical Therapy. Elsevier.
- Mercado M., Gambarotta M., González C., Pallares S. (2008). *Utilidad de la goniometría en la evaluación del rango de los movimientos de flexión y extensión de la articulación del codo canino*. Buenos Aires, Argentina.
- Millis D, Levine D. (2014). *Canine Rehabilitation and Physical Therapy*. Elsevier USA; Philadelphia.
- Morales C. (2012). *Terapia física en pacientes ortopédicos*. REDVET Rev. Electrón. Vet. Volumen 13 N° 12C. Obtenido de: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n121212C.html>

- MedicalEXPO. (nd). *Ortesis veterinaria para cánidos/rodilla/articulada*. Obtenido de: <http://www.medicalexpo.es/prod/orthopets-europe/product-78736-494388.html>
- Owen MR. (2006). *Rehabilitation therapies for musculoskeletal and spinal disease in small animal practice*. Obtenido de: <http://www.ojaischoolofmassage.com/.../Rehabfordogs.pdf>
- Pololu. (2001), *Robotics & Electronics*. Obtenido de: <https://www.pololu.com/>
- Pueyo. (2011). *Fisioterapia y rehabilitación veterinaria*. Editorial Servet. Zaragoza, España.
- Protección Animal Ecuador. (nd). *Quienes Somos*. Obtenido de: <http://www.pae.ec/quienessomos/>
- Rijnberk et al; (2009). Medical history and physical examination in companion animals. Obtenido de: [http://www. www.sciencedirect.com/science/..](http://www. www.sciencedirect.com/science/)
- Riviere S. (2007). *Physiotherapy for cats and dogs applied to locomotor disorders of arthritic origin*. Rev. Veterinary Focus. Vol. 17 N°3
- Rodríguez M. (2008). *Electroterapia en fisioterapia*. 2°ed. Editorial Médica Panamericana. Madrid; España.
- Romero M. (2012). *Diseño y construcción de una ortesis de rodilla, destinada a la rehabilitación automatizada de la extremidad inferior*. Cuenca-Ecuador-
- Ruiz M, Amils R, Ruiz R. (2007). *Rehabilitación y fisioterapia canina Estrategias de rehabilitación post-operatoria*. Rev. Asociación Madrileña de Veterinarios de Animales de Compañía N° 23 Madrid.
- Santoscoy E. (2008). *Ortopedia, neurología y rehabilitación en pequeñas especies*. Editorial El Manual Moderno. México.
- Secretaría General, Ministerio de Salud. (Quito, 2009). *Reglamento de Tenencia y Manejo responsable de Perros*. Obtenido de: <http://petnet.ec/video/REGLAMENTO.pdf>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades. (Quito, 2017). *Plan Nacional del Buen Vivir 2017-2021*. Obtenido de: <http://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf>
- Traumavet. (2018), *Traumatología veterinaria*, Obtenido de: [http://www.traumatologiaveterinaria.com/index.php?web=divulgacion/003\\_01.php](http://www.traumatologiaveterinaria.com/index.php?web=divulgacion/003_01.php)
- Watson T. (2009). *Electroterapia*. Práctica basada en la evidencia. Editorial Elsevier. Barcelona, España.