

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA UNA CAMINADORA SUBACUÁTICA DE  
HIDROTERAPIA EN CANES DE RAZAS GRANDES”**

**AUTOR: ERICK SANTIAGO YAMBERLA INZUASTI**

**DIRECTORA: MSC. LUZ MARÍA TOBAR SUBÍA CONTENTO**

**IBARRA - ECUADOR**

**2023**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	1004771182	
<b>APELLIDOS NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	Yamberla Inzuasti Erick Santiago	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Zamora 18-12 y Tulcán		
<b>EMAIL:</b>	esyamberlai@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	-	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0939308348

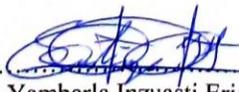
DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“Sistema electrónico para una caminadora subacuática de hidroterapia en canes de razas grandes”
<b>AUTOR (ES):</b>	Yamberla Inzuasti Erick Santiago
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	11/08/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Mecatrónica
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Msc. Luz María Tobar Subía Contento

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de agosto de 2023.

#### EL AUTOR:

(Firma)...   
Nombre: Yamberla Inzuasti Erick Santiago

## CERTIFICACIÓN

Ibarra, 9 de agosto de 2023

MSC. LUZ MARÍA TOBAR SUBÍA CONTENTO,  
DIRECTORA DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACION

CERTIFICA:

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: “**SISTEMA ELECTRÓNICO PARA UNA CAMINADORA SUBACUÁTICA DE HIDROTERAPIA EN CANES DE RAZAS GRANDES**”, que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Erick Santiago Yamberla Inzuasti, bajo mi supervisión. Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.



Msc. Luz María Tobar Subía Contento  
DIRECTORA DE TRABAJO DE GRADO

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres, Luis Yamberla y Lilian Inzuasti, quienes con mucho amor y cariño me han apoyado en cada etapa de mi vida. A mi hermano, Anthony Yamberla, quien ha estado conmigo siempre en los buenos y malos momentos.

A mi familia y amigos en general que creyeron en mí y me apoyaron con su granito de arena para cumplir mi meta.

*Erick S. Yamberla*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la vida, la salud y las bendiciones recibidas en mi día a día.

A la Universidad Técnica del Norte por darme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

Un agradecimiento especial a mis tutores Msc. Luz María Tobar y PhD. Marco Ciaccia por guiarme durante el desarrollo de este proyecto, por toda sus enseñanzas y apoyo necesarios para culminar mi carrera.

A cada una de las personas que me han brindado su apoyo de una u otra forma para conseguir este logro.

*Erick S. Yamberla*

## RESUMEN

Un problema frecuente que sufren los perros en la edad adulta son las enfermedades osteoarticulares, entre ellas la displasia de cadera, que les provoca graves dolencias y les impide caminar. Al ser una enfermedad sin cura, muchos profesionales optan por la hidroterapia con cintas subacuáticas como tratamiento rehabilitador. Sin embargo, este tipo de tecnología en el Ecuador aún no se ha creado. Dado lo anterior, se presenta el diseño e implementación de un sistema electrónico que permite el control y seguimiento de funciones en un sistema de hidroterapia enfocado a perros de razas grandes, el cual brinda una alternativa eficiente para el tratamiento de enfermedades relacionadas con la displasia de cadera. Para el desarrollo de la solución se analizaron los parámetros y restricciones de diseño con el apoyo de especialistas veterinarios con el fin de brindar una opción que satisfaga los requerimientos. El calentamiento del agua se controla dentro de un depósito externo hasta alcanzar una temperatura ideal para la terapia. El control y seguimiento de la operación se realiza a través de un sistema embebido y una aplicación gráfica elaborada en el software MIT App Inventor, que permite la visualización y regulación de las variables de consideración en el sistema: velocidad de la cinta, nivel de agua, y temperatura.

**Palabras clave:** cinta subacuática, hidroterapia canina, interfaz gráfica, rehabilitación, sistema electrónico.

## ABSTRACT

A frequent problem dogs suffer in adulthood is osteoarticular diseases, among them hip dysplasia, which causes severe ailments and prevents dogs from walking. Being a disease with no cure, many professionals opt for hydrotherapy with underwater tapes as a rehabilitation treatment. However, this type of technology in Ecuador has yet to be created. Given the above, the design and implementation of an electronic system that allows the control and monitoring of functions in a hydrotherapy system focused on large breed dogs is presented, which provides an efficient alternative to treat diseases related to hip dysplasia. For the development of the solution, the design parameters and restrictions were analyzed with the support of veterinary specialists in order to provide an option that satisfies the requirements. Water heating is controlled within an external reservoir until reaching an ideal temperature for therapy. The control and monitoring of the operation are carried out through an embedded system and a graphic application elaborated in the MIT App Inventor software, which enables the visualization and regulation of the variables of consideration in the system: speed of the belt, level of water, and temperature.

**Keywords:** underwater treadmill, canine hydrotherapy, graphical interface, rehabilitation, electronic system.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
Problema .....	1
Objetivos .....	2
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos .....	2
Alcance .....	2
Justificación .....	3
1. CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL .....	4
1.1. Antecedentes .....	4
1.2. Marco teórico .....	5
1.2.1. Los canes y las razas caninas .....	5
1.2.2. Displasia de cadera .....	5
1.2.2.1 Síntomas clínicos .....	6
1.2.2.2 Diagnóstico .....	6
1.2.2.3 Clasificación .....	7
1.2.2.4 Tratamientos conservadores .....	8
1.2.3. Propiedades físicas del agua .....	10
1.2.3.1 Disolvente .....	10
1.2.3.2 Resistencia .....	10
1.2.3.3 Presión hidrostática .....	10
1.2.3.4 Flotabilidad .....	10
1.2.4. Hidroterapia .....	11
1.2.4.1 Beneficios .....	11

1.2.4.2 Indicaciones .....	11
1.2.4.3 Modalidades .....	11
1.2.5. Componentes y sistemas.....	13
1.2.5.1 Sensores .....	13
1.2.5.2 Actuadores .....	14
1.2.5.3 Sistema embebido.....	17
1.2.5.4 Conectividad Bluetooth .....	18
1.2.5.5 Interfaz gráfica de usuario .....	18
1.2.5.6 Consumo de energía eléctrica.....	18
1.2.5.7 Gasto energético en actividad física .....	19
1.3. Marco legal .....	20
1.3.1. Normativa internacional .....	20
1.3.1.1 Declaración Universal de los Derechos del Animal <sup>1</sup> .....	20
1.3.1.2 Código Sanitario para Animales Terrestres - OMSA <sup>2</sup> .....	21
1.3.2. Normativa nacional.....	22
1.3.2.1 Ley Orgánica de Bienestar Animal <sup>3</sup> .....	22
2. CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO.....	23
2.1. Modelo de investigación.....	23
2.2. Diseño de la investigación.....	24
2.2.1. Planificación introductoria del sistema electrónico.....	24
2.2.2. Desarrollo del sistema electrónico.....	24
2.2.3. Validación de funcionalidad.....	26
3. CAPÍTULO III: RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	27
3.1. Especificaciones del sistema .....	27

3.2.	Planteamiento de la solución .....	28
3.3.	Descripción general del sistema .....	32
3.4.	Diseño del sistema electrónico .....	32
3.4.1.	Fase de sensado .....	33
3.4.1.1	Termocupla tipo K.....	33
3.4.2.	Fase de procesamiento de datos.....	34
3.4.2.1	Tarjeta embebida Arduino UNO .....	34
3.4.3.	Fase de manejo y monitoreo de información.....	35
3.4.3.1	Softwares de desarrollo .....	35
3.4.3.2	Módulo Bluetooth.....	35
3.4.3.3	Pantalla LCD .....	36
3.4.4.	Fase de control.....	37
3.4.4.1	Motor .....	37
3.4.4.2	Reductor .....	38
3.4.4.3	Variador de frecuencia.....	38
3.4.4.4	Resistencia calefactora .....	39
3.4.4.5	Electroválvulas .....	40
3.4.4.6	Bomba de recirculación .....	41
3.4.4.7	Módulo Relé de 8 vías .....	41
3.4.4.8	Fuente de alimentación DC .....	42
3.4.4.9	Placa electrónica de conexiones y control.....	42
3.4.5.	Prueba en elementos por separado.....	45
3.4.6.	Cálculo de costo por uso del sistema de hidroterapia.....	45
3.4.7.	Desarrollo de la interfaz gráfica .....	46

3.4.8. Implementación .....	51
3.5. Funcionalidad y pruebas de validación .....	53
3.5.1. Fase inicial .....	53
3.5.2. Fase de preparación .....	53
3.5.3. Fase de ejecución.....	55
3.5.4. Fase de finalización .....	58
3.6. Análisis de resultados .....	59
CONCLUSIONES .....	61
RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS .....	63
ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Signos clínicos de la displasia de cadera [15]. .....	6
Tabla 1.2 Clasificación de la displasia de cadera [15].....	8
Tabla 1.3 Tipos de sensores [24]. .....	13
Tabla 1.4 Características de los motores DC y AC [30].....	17
Tabla 1.5 Valores MET de interés [36], [37].....	20
Tabla 3.1 Factores que influyen en la hidroterapia [21], [42]. .....	29
Tabla 3.2 Máquinas de hidroterapia comerciales [6].....	29
Tabla 3.3 Requerimientos obtenidos de la entrevista. ....	30
Tabla 3.4 Requisitos y restricciones de la máquina.....	31
Tabla 3.5 Información sobre termocupla tipo K [43]. .....	33
Tabla 3.6 Información sobre la tarjeta Arduino UNO [44]. .....	34
Tabla 3.7 Datos técnicos del módulo Bluetooth [45]. .....	36
Tabla 3.8 Datos técnicos de la pantalla LCD con I2C [46]. .....	36
Tabla 3.9 Información sobre el motor seleccionado [47]. .....	37
Tabla 3.10 Información sobre el reductor seleccionado [48]. .....	38
Tabla 3.11 Información sobre el variador de frecuencia seleccionado [49]. .....	38
Tabla 3.12 Información sobre la resistencia calefactora seleccionada. ....	40
Tabla 3.13 Información sobre electroválvulas seleccionadas.....	40
Tabla 3.14 Información sobre bomba recirculadora seleccionada [51]. .....	41
Tabla 3.15 Datos técnicos del módulo relé de 8 vías [52]. .....	41
Tabla 3.16 Consumo de corriente de componentes electrónicos.....	42
Tabla 3.17 Consumo de energía de componentes electrónicos. ....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Articulación de cadera normal [14].	7
Figura 1.2 Articulación de cadera con displasia severa [14].	7
Figura 1.3 Hidroterapia mediante natación [20].	12
Figura 1.4 Hidroterapia con cinta subacuática [20].	12
Figura 1.5 Tipos de actuadores [23].	14
Figura 1.6 Estructura de un motor [29].	16
Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema de hidroterapia.	33
Figura 3.2 Diagrama esquemático de la placa electrónica.	43
Figura 3.3 Diseño PCB placa de conexiones y control	44
Figura 3.4 Placa electrónica diseñada.	44
Figura 3.5 Diagrama de flujo del sistema de hidroterapia	47
Figura 3.6 Ventana menú principal.	48
Figura 3.7 Ventana de configuración de parámetros	49
Figura 3.8 Ventana de visualización de datos.	50
Figura 3.9 Diseño y conexión de tableros eléctricos.	51
Figura 3.10 Montaje de tableros eléctricos.	52
Figura 3.11 Instalación del reservorio, tubos y electroválvulas.	52
Figura 3.12 Llenado manual del reservorio.	53
Figura 3.13 Calentamiento de agua a temperatura seleccionada.	54
Figura 3.14 Ingreso de parámetros para nivel de agua.	55
Figura 3.15 Selección de velocidad para iniciar la sesión.	56
Figura 3.16 Sesión de rehabilitación con paciente.	57
Figura 3.17 Visualización de información en pantalla LCD.	57

Figura 3.18 Visualización de información en interfaz gráfica móvil. ....	58
Figura 3.19 Ventana de fin de sesión de rehabilitación.....	59

## INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo se describe el problema planteado, los objetivos a lograr, el alcance propuesto y finalmente la justificación sobre las razones para desarrollar este proyecto en beneficio a la salud de los canes.

### **Problema**

Las enfermedades de tipo osteoarticular se han vuelto un problema muy común en las consultas veterinarias, debido a la falta de información sobre las mismas. La displasia de cadera es una de estas enfermedades y se manifiesta de forma asintomática, presentando molestias cuando ha alcanzado un gran deterioro de la articulación coxofemoral y sus ligamentos [1]. En Ecuador, las enfermedades caninas más comunes se asocian con hernias discales, discoespondilosis, displasias de cadera, rotura de ligamentos y artrosis en codo. Sin embargo, existen diferentes técnicas de acuerdo con cada patología [2].

Según estudios realizados por el INEC, a nivel nacional existen 21 centros veterinarios certificados, de los cuales 8 están ubicadas en Quito, y se dedican a practicar actividades patológicas y de diagnóstico. La fisioterapia canina ayuda a evitar que los animales requieran de una silla de ruedas o una prótesis. Además, existen tratamientos paliativos que ayudan en la relajación del dolor [3].

Realizar cirugías para la colocación de prótesis caninas no son recomendadas para todas las mascotas, debido a que deben practicar exámenes médicos como: radiografías, ecografías, tomografías, exámenes prequirúrgicos que comprenden análisis de sangre, hígado, riñón, entre otros [3].

La displasia coxofemoral representa una enfermedad degenerativa que afecta y desgasta la cadera, provocando un impedimento para que el perro camine con el transcurso

del tiempo. Debido a que esta enfermedad no tiene una cura, muchos especialistas internacionales recurren a la hidroterapia en máquinas como método de apoyo en esta afección. El procedimiento consiste en caminar dentro de la máquina que contiene una cierta cantidad de agua temperada con el fin de ejercitar los músculos de las extremidades para potenciar la zona pélvica del can. Sin embargo, en Ecuador aún no se desarrolla este sistema de hidroterapia [4].

Por ende, dada la problemática presentada, el desarrollo del sistema electrónico para una caminadora subacuática es de vital importancia para ayudar en tratamientos de disminución de dolor y rehabilitación canina.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Desarrollar el sistema electrónico para una caminadora subacuática de hidroterapia en canes de razas grandes.

### ***Objetivos específicos***

- Analizar las características de los sistemas electrónicos implementados en caminadoras caninas.
- Diseñar los sistemas de control y medición, y una interfaz HMI con las variables de consideración para el registro de la rehabilitación de los pacientes.
- Validar el funcionamiento del sistema.

## **Alcance**

Este proyecto será enfocado para canes de razas grandes y se plantean las dimensiones estimadas para la estructura de acuerdo con la morfología de canes de raza grande, con una

altura y peso estimados. Además, se utilizarán materiales y elementos hipoalergénicos que no causen problemas a la salud de los canes.

Adicionalmente, se utilizarán controles de manera local o remota para ejecutar las principales funciones de la caminadora y para manipular las variables de temperatura y velocidad. Posteriormente, se medirá las variables de distancia recorrida y calorías consumidas en base a ciertos parámetros (peso del can, velocidad, tiempo transcurrido, etc.). Por último, se implementará una interfaz HMI para llevar un registro de cada paciente con el fin de observar su progreso y mejoría.

### **Justificación**

El desarrollo de la caminadora subacuática conlleva a un impacto en lo económico y eficiencia, beneficiando a especialistas veterinarios que ofrecen servicios de rehabilitación canina. A su vez mejorar las condiciones de vida de los canes, esto mediante un incremento en la fuerza muscular, mayor flexibilidad, movilidad y coordinación en las extremidades.

Al ser una de las nuevas tecnologías en la prevención de enfermedades caninas, se espera que el desarrollo de este proyecto aporte con nuevas líneas de investigación en las instituciones de educación superior, abriendo nuevas oportunidades a los estudiantes para desarrollar futuros proyectos dentro de las áreas de bioingeniería y medicina veterinaria enfocadas en la salud y bienestar animal.

## **1. CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL**

Para el presente capítulo se realiza una revisión de antecedentes y trabajos relacionados al proyecto, una fundamentación teórica sobre conceptos de interés que sirvan de soporte para una mejor comprensión del desarrollo del proyecto y un marco legal.

### **1.1. Antecedentes**

El prototipo desarrollado [4] consta de una caminadora subacuática canina que cuenta con características y funcionalidades similares enfocado a canes de razas pequeñas. Se destaca la metodología escogida, componentes, ensamblaje, conexiones, entre otros.

En la investigación [5] se identifican requerimientos de natación y la cinta caminadora subacuática (UWTM) que se debe tener en cuenta relacionados con la raza del can y con algunas variables del sistema como la temperatura del agua, velocidad de la cinta, profundidad del agua, resistencia y duración.

En el proyecto [6] se detalla el desarrollo de un sistema de control inteligente aplicado a una caminadora, en el cual se hace énfasis en la adquisición de datos, la adaptación de la señal de control hacia el motor DC e implementación de un controlador difuso.

En el trabajo desarrollado en [7] se presentan tres propuestas sobre el calentamiento de agua a través de resistencias calefactoras, utilizando alternativas de una, dos y cuatro resistencias, y cada opción con sus respectivos circuitos y gráficos simulados en PowerSim.

En el sistema propuesto en [8] se hace uso de herramientas basadas en Arduino para el control y monitoreo de parámetros en una cabina de aseo. Adicionalmente, en [9] se contempla la implementación de un sistema HMI basado en código abierto para controlar y monitorear un sistema dinámico, cuya etapa de visualización de datos se trabaja con una pantalla HDMI de conexión directa con una tarjeta Raspberry.

## **1.2. Marco teórico**

Para comprender las bases del funcionamiento del proyecto es necesario introducir la terminología relacionada a los canes, enfermedades y terapias de rehabilitación.

### ***1.2.1. Los canes y las razas caninas***

Los canes son animales cuadrúpedos pertenecientes a la familia de los mamíferos y pueden convivir con las personas como una mascota [10]. Las razas caninas se definen como grupos de canes con características, rasgos genéticos, y rasgos físicos similares, los cuales los distinguen de otros grupos. Dentro de la clasificación, se toma en cuenta la morfología, detalles físicos, comportamiento y aptitudes [11].

De acuerdo con su tamaño y ciertas características físicas, las razas caninas se clasifican en cuatro grupos:

- Razas pequeñas: canes que pesan entre 3 y 10 kg, y miden hasta 30 cm.
- Razas medianas: canes que pesan entre 10 y 25 kg, y miden entre 30 y 40 cm.
- Razas grandes: canes que pesan entre 25 a 50 kg, y miden entre 40 y 60 cm.
- Razas gigantes: canes que pesan más de 50 kg y miden más de 60 cm [11], [12].

### ***1.2.2. Displasia de cadera***

La displasia de cadera es una enfermedad que produce una alteración en las articulaciones de los canes, en especial los canes de razas medianas a grandes. Se presenta una inestabilidad de la articulación coxofemoral e incluye grados de laxitud. Generalmente, los síntomas se manifiestan en los tejidos blandos adyacentes y aparecen en los canes de raza grande. Aparece al principio como una forma de subluxación en dicha articulación hasta presentarse una osteoartritis [13].

### 1.2.2.1 Síntomas clínicos

La displasia de cadera tiene su inicio durante la etapa juvenil de los canes y su síntoma más característico es la cojera en los miembros posteriores, desde un ligero balanceo hasta una degeneración articular de gravedad [14]. En la Tabla 1.1 se muestran algunos síntomas clínicos característicos de la displasia de cadera.

**Tabla 1.1.**

Signos clínicos de la displasia de cadera [14].

<b>Signos no específicos</b>	<b>Signos en extremidad posterior</b>	<b>Anormalidad en la marcha</b>
- Intolerancia al ejercicio	- Dolor en la cadera	- Balanceo del tercio posterior
- Dificultad para subir escaleras	- Atrofia unilateral de la musculatura del miembro posterior	- Aparición temblorosa o de apariencia atáxica, con examen neurológico
- Dificultad para acostarse o levantarse	- Clic audible al caminar	- Base ancha de las extremidades traseras - Espalda arqueada - Marcha en "saltos de conejo"

### 1.2.2.2 Diagnóstico

Para diagnosticar la displasia de cadera es necesario examinar de manera cuidadosa al paciente y siguiendo un procedimiento riguroso.

Como primer punto lleva a cabo la anamnesis en donde tenemos en consideración los dolores que posee el can que, por lo general, al principio se trata de una enfermedad intermitente y progresiva, pero en una etapa más desarrollada se vuelve crónica y más constante, incluso su propietario puede no haber notado molestias de dolor en el animal. Seguidamente se verifica si el can tiene cojera al momento de caminar. Cuando la enfermedad es severa, se nota un caminar más lento de lo que acostumbra, incluso se identifican saltos con el fin de reducir peso en la zona afectada. Como último paso viene la etapa de palpación

en la cual se realiza exámenes al paciente en su estado normal y bajo efectos de anestesia. Se realiza radiografías al can en diversas posiciones de ser necesario [15]. A continuación, se observan los esquemas radiográficos donde se muestra una articulación de cadera normal (ver Figura 1.1) y una articulación de cadera con displasia severa (ver Figura 1.2).

**Figura 1.1.**

Articulación de cadera normal [14].



**Figura 1.2.**

Articulación de cadera con displasia severa [14].



**1.2.2.3 Clasificación**

De acuerdo con la Federación Cinológica Internacional (FCI), la clasificación de la displasia de cadera en canes se divide en cinco grados, que empieza desde el grado A, que representa un estado normal, hasta el grado E, que consiste en un estado avanzado de la enfermedad [14]. La Tabla 1.2 muestra los tipos de displasia de cadera.

**Tabla 1.2.**

Clasificación de la displasia de cadera [14].

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
<b>Grado A Articulación de cadera normal</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- La cabeza del fémur y el acetábulo son congruentes.</li><li>- El borde craneolateral es puntiagudo y ligeramente redondeado.</li><li>- El ángulo de Norberg es de aproximadamente 105° o más.</li></ul>
<b>Grado B Articulación de cadera casi normal</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- La cabeza del fémur y el acetábulo parecen ligeramente incongruentes.</li><li>- El ángulo de Norberg es inferior a 105°.</li></ul>
<b>Grado C Displasia leve/ligera</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- La cabeza del fémur y el acetábulo son incongruentes.</li><li>- El ángulo de Norberg es de aproximadamente 100°.</li><li>- Borde craneolateral se encuentra aplanado.</li><li>- Subluxación leve o signos iniciales de osteoartritis.</li></ul>
<b>Grado D Displasia intermedia/moderada</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- La cabeza del fémur y el acetábulo son incongruentes con subluxación.</li><li>- El ángulo de Norberg se encuentra entre 90° y 100°.</li><li>- Borde craneolateral considerablemente aplanado.</li><li>- Signos de osteoartritis.</li></ul>
<b>Grado E Displasia grave/avanzada</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- La cabeza del fémur y el acetábulo son completamente incongruentes.</li><li>- El ángulo de Norberg es menor a 90°.</li><li>- Aplanamiento evidente del margen acetabular craneal.</li><li>- Subluxación considerable.</li></ul>

#### 1.2.2.4 Tratamientos conservadores

Se trata de un tratamiento de tipo preventivo que se practica de muchas formas.

- **La acupuntura**

Es una terapia que consiste en insertar agujas alrededor de las zonas afectadas del cuerpo con el fin de mejorar el estado de la salud. Esta técnica se aplica en síntomas de debilitamiento, dolor e inflamaciones [16].

- **La fisioterapia**

Es el método en el cual se sujeta una extremidad del paciente y se realizan movimientos mientras se examina signos de dolor en la cadera. Se realizan desplazamientos de flexión y extensión alternando extremidades del paciente [16].

- **Flexión/extensión**

Es el método en el cual se sujeta una extremidad del paciente y se realizan movimientos mientras se examina signos de dolor en la cadera. Se realizan desplazamientos de flexión y extensión alternando las extremidades [16].

- **Abducción/aducción**

La abducción consiste en separar las extremidades posteriores del tronco. Mientras que en la aducción se acerca los miembros sin generar molestias en el paciente [16].

- **Ejercicios estabilizadores y activos**

Son ejercicios enfocados en canes operados y que no estén en condiciones de realizar actividades físicas. Se practica después de las cirugías y con masajes suaves [16].

- **Apoyos**

Consiste en colocar las extremidades delanteras en objetos de apoyo ocasionando una tensión en los tejidos musculares y miembros posteriores. Por lo general se ocasiona fatiga en canes con displasia o que han recibido cirugía [16].

- **Trampolín**

Es un elemento usado en terapias con canes que, por lo general, suelen ocasionarles temor. Primero se debe acostumbrar al paciente y después realizar la terapia [16].

- **Productos farmacológicos**

Existen fármacos comunes para tratar la displasia de cadera. Los antiinflamatorios no esteroides (AINE) impiden la generación de prostaglandinas reduciendo los síntomas de inflamación y dolor. Por otro lado, los condroprotectores ayudan a producir sustancias favorables en la zona afectada y ayuda a conservar el líquido sinovial [14].

### ***1.2.3. Propiedades físicas del agua***

El agua es un elemento vital de la naturaleza y se encuentra en ríos, océanos, lluvia entre otros. Además, posee ciertas propiedades físicas que se describen a continuación:

#### **1.2.3.1 Disolvente**

El agua posee la característica de ser un disolvente universal. Esta propiedad es beneficiosa en la limpieza de heridas en los pacientes, removiendo sustancias contaminantes o infecciosas [17].

#### **1.2.3.2 Resistencia**

El agua posee la característica de viscosidad que, a su vez, brinda una resistencia en sentido opuesto al movimiento de un cuerpo inmerso en agua. Mediante el cambio de velocidad en el flujo de agua o en el movimiento del paciente se aplican diferentes presiones hacia las partes del cuerpo afectadas [17].

#### **1.2.3.3 Presión hidrostática**

Consiste en la presión que se provoca el agua cuando un cuerpo se encuentra sumergido en reposo, mientras más profundo se encuentre el paciente mayor es la presión hidrostática. Estos efectos se reducen cuando el paciente realiza alguna actividad o se sitúa horizontalmente [17].

#### **1.2.3.4 Flotabilidad**

Básicamente es la fuerza vertical ascendente que experimenta un cuerpo sumergido en un líquido, ocasionando que el paciente soporte un menor peso. Esto se debe a que la densidad de los seres vivos es menor que la densidad del agua [17].

#### **1.2.4. Hidroterapia**

Es una terapia de forma natural en la que se utiliza el agua como principal elemento. Dando como resultados la capacidad de incrementar la fuerza muscular, recuperar la movilidad, reducir el dolor, capacidad cardiorrespiratoria, entre otros [16].

##### **1.2.4.1 Beneficios**

Existen varios beneficios y, por ello, se está volviendo una buena opción dentro de las clínicas veterinarias. Estos beneficios son:

- Aumento de fuerza y resistencia muscular y cardiovascular.
- Mejoría de movilidad en articulaciones y tejidos blandos.
- Buena circulación.
- Reducción de molestias de dolor.
- Sensación de bienestar y revitalización [18].

##### **1.2.4.2 Indicaciones**

Se recomienda tomar en cuenta ciertas indicaciones para practicar esta terapia:

- Mantener una temperatura de agua cercana a 30°C (valores entre 25 y 35°C).
- Practicar 1 a 2 sesiones por semana.
- Se recomienda practicar de 10 a 30 minutos por cada sesión.
- Enfocada en trastornos neurológicos y ortopédico.
- Se debe realizar bajo supervisión de un profesional veterinario [18], [19], [20].

##### **1.2.4.3 Modalidades**

Para practicar la hidroterapia en canes existen dos opciones: natación y cinta subacuática.

- **Natación**

Se requiere de una piscina para que el can se sumerja y realice diversos ejercicios. El paciente experimenta una baja carga de peso, relajación en sus músculos y una mejora en sus articulaciones. Recomendado para canes con índices de dolor y síntomas de cojera [18].

**Figura 1.3.**

Hidroterapia mediante natación [20].



- **Cinta subacuática**

Esta máquina consiste en una estructura metálica y una cinta caminadora cubierta por una cierta cantidad de agua para que el paciente pueda caminar (ver Figura 1.4). Se logra la extensión en las articulaciones de la cadera y los efectos varían según el nivel de agua [18].

**Figura 1.4.**

Hidroterapia con cinta subacuática [20].



Existen ventajas de la cinta subacuática con respecto a la terapia tradicional de natación en piscinas, las cuales se describen a continuación:

- Se tiene control sobre sus principales factores como la velocidad, nivel y profundidad de agua, ángulo de inclinación, y duración del tiempo.
- Ofrece un resultado enfocado en la coordinación y resistencia para recuperar la capacidad de caminar en pacientes que padecen enfermedades osteoarticulares.
- Algunas caminadoras disponen de hidromasaje y no ocupan mucho espacio [21].

### **1.2.5. Componentes y sistemas**

Para la implementación del proyecto se requieren de varios elementos y componentes, por ello en este apartado se brinda una definición de cada uno de ellos.

#### **1.2.5.1 Sensores**

Un sensor es un dispositivo que detecta una variable física de interés (fuerza, presión, temperatura) y la transforma en una señal eléctrica. Son utilizados para medir magnitudes físicas requeridas [22]. En la Tabla 1.3 se observan los tipos de sensores de acuerdo con el tipo ser variable física a sensar.

**Tabla 1.3.**

Tipos de sensores [23].

Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y PH
	Biométricos
	De corriente

- **Sensor de temperatura**

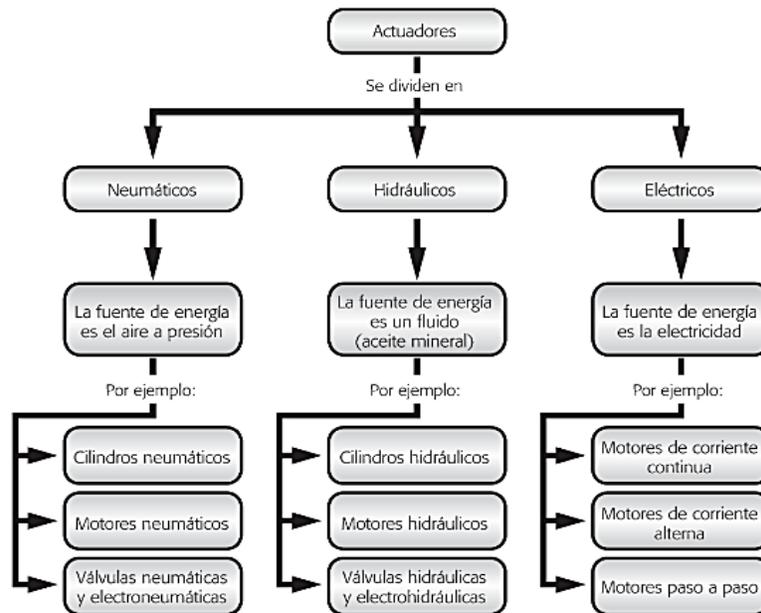
Es un dispositivo que capta la energía térmica presente en un material o ambiente y la convierte en una señal eléctrica. Su función se fundamenta en las propiedades de los conductores y semiconductores [23].

### 1.2.5.2 Actuadores

Es un elemento capaz de transformar una fuerza y transmitir movimiento u otra variable física hacia un componente mecánico [23]. En la Figura 1.5 se observan los tipos de actuadores de acuerdo con el tipo de energía utilizada.

**Figura 1.5.**

Tipos de actuadores [23].



- **Electroválvulas**

Son dispositivos electromecánicos conformados por una bobina o solenoide, un resorte y una carcasa metálica. Su función es controlar la circulación de un fluido por un conducto. Tiene dos estados: abierto y cerrado [24], [25].

- **Bombas de agua**

Son aparatos utilizados en el transporte de fluidos de un sitio específico hacia otro.

Son muy útiles para desplazar agua de piscinas, pozos y grandes contenedores [26].

- **Resistencias calefactoras**

Son componentes eléctricos destinados para generar calor mediante la oposición al flujo de energía eléctrica que circula por ellos. El calor se conduce desde la cubierta metálica externa hacia el objeto a través de convección, radiación o conducción [27].

- **Potencia calefactora**

Para elevar la temperatura del agua se requiere de un valor de potencia en función del calor y del tiempo necesario para llevar a cabo el calentamiento [28]. La fórmula para obtener la potencia requerida se muestra en la Ecuación 1,

$$P = \frac{Q}{t} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

$P$ : es la potencia requerida

$Q$ : es la energía necesaria

$t$ : es el tiempo empleado

La obtención de la energía necesaria en forma de calor se basa en los fundamentos de transferencia de calor entre objetos, que se determina con la Ecuación 2,

$$Q = m * c * (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

$Q$ : es la energía calorífica

$m$ : es la masa del sistema

$c$ : es el calor específico

$T_1$ : es la temperatura inicial

$T_2$ : es la temperatura final

Para determinar la masa de agua utilizada se requiere de la fórmula de la densidad, que se define en la Ecuación 3,

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

$\rho$ : es la densidad del agua

$m$ : es la masa de agua

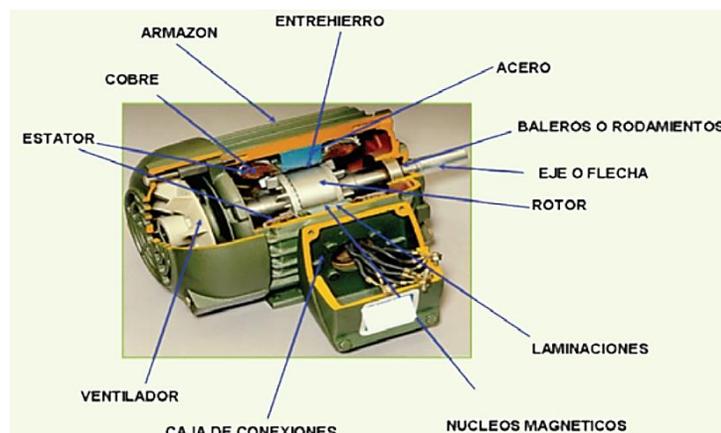
$v$ : es el volumen de agua

- **Motor**

Es una máquina eléctrica destinada a transformar energía eléctrica en mecánica para brindar movimiento hacia procesos, maquinaria y equipos. Sus dos componentes principales son un estator fijo y un rotor móvil [29]. En la Figura 1.6 se muestran su estructura interna.

**Figura 1.6.**

Estructura de un motor [29].



Los motores eléctricos se clasifican en motores de corriente directa (DC) y corriente alterna (AC) [29]. En la Tabla 1.4 se muestran sus principales características.

**Tabla 1.4.**

Características de los motores DC y AC [29].

<b>Motores DC</b>	<b>Motores AC</b>
- Tienen la capacidad de controlar su velocidad de rotación.	- Funcionan directamente con la corriente proveniente de las empresas eléctricas.
- Útiles en aplicaciones donde se requiere velocidad y torque precisos.	- No es necesario convertir la corriente alterna en directa para suministrar al motor.
- Estator formado por polos principales excitados por corrientes continuas.	- Se dividen en motores síncronos y asíncronos o de inducción.
- Rotor se alimenta con corriente continua por medio del colector y escobillas.	- En motores síncronos el eje y el campo magnético giran a igual velocidad.
- Se requieren de equipos complementarios como rectificadores de potencia.	- En motores asíncronos el eje gira a menor velocidad que el campo magnético.

Para lograr regular la velocidad en los motores de corriente alterna es necesario el uso de un aparato adicional denominado variador de frecuencia.

- **Variador de frecuencia**

Un variador o convertidor de frecuencia es un dispositivo electrónico capaz de variar el valor de la frecuencia y, por ende, variar la velocidad de un motor AC asíncrono. Su función es producir la corriente alterna necesaria para el arranque del motor con la frecuencia y tensión requeridas.

### 1.2.5.3 Sistema embebido

Se trata de un circuito electrónico digital capaz de ejecutar funciones de computación en tiempo real con el fin de realizar tareas y procesos determinados, aunque suelen contar con recursos limitados. A continuación, se enlistan sus principales beneficios.

- Necesitan un bajo consumo de energía.

- Existen microcontroladores de varios modelos, arquitecturas y cada uno es específico para una aplicación.
- En cuanto a lenguajes de programación, los más comunes son: lenguaje ensamblador, ANSI C, C++ y Basic [30].

#### **1.2.5.4 Conectividad Bluetooth**

El protocolo Bluetooth se refiere a un modelo de comunicación de alcance limitado que favorece el intercambio de datos entre dispositivos. Sus características son la robustez, bajo coste, consumo mínimo y permite una comunicación inalámbrica. Posee aplicaciones útiles como la interconexión con componentes periféricos y la transferencia de audio, archivos y otros datos en dispositivos compatibles [31].

#### **1.2.5.5 Interfaz gráfica de usuario**

Se define como un programa o aplicación que contiene gráficos y objetos visuales para mostrar funciones y diferentes datos de interés. Se caracteriza por tener un entorno gráfico de fácil uso e intuitivo que favorezca la interacción entre los usuarios con un equipo.

Entre sus características principales se destacan:

- Muy fácil de comprender y utilizar.
- Se debe evitar elementos innecesarios que causen confusiones y complicaciones.
- Sus funciones deben ser rápidas e inmediatas, y se puedan revertir [32].

#### **1.2.5.6 Consumo de energía eléctrica**

El cálculo del consumo total de energía se fundamenta en las fórmulas relacionadas a la potencia eléctrica [33], la cual se mide en vatios (W). El cálculo de la potencia en una fase se representa por medio de la Ecuación 4,

$$P = VI$$

Ecuación 4

donde:

$P$  es la potencia en una fase

$V$  es el voltaje aplicado

$I$  es la corriente utilizada

Además, la obtención de la potencia trifásica se determina a través de la Ecuación 5,

$$P_{3f} = \sqrt{3}VI$$

Ecuación 5

donde:

$P_{3f}$  es la potencia trifásica

$V$  es el voltaje de operación

$I$  es la corriente empleada

### 1.2.5.7 Gasto energético en actividad física

Cuando un individuo realiza una actividad física se produce una cantidad de gasto energético. Para determinar dicho gasto de energía se requiere analizar la teoría relacionada al gasto calórico [34]. Existen diferentes valores tabulados de medida del índice metabólico (MET) dependiendo del tipo de actividad realizada. Para obtener el gasto energético medido en kilocalorías por minuto se emplea la Ecuación 6,

$$GE' = MET * 0,0175 * m$$

Ecuación 6

donde:

$GE'$  es el gasto energético medido en kcal/min

$MET$  es la medida del índice metabólico

$m$  es la masa del individuo en kg

Por conveniencia se requiere calcular el gasto energético en kilocalorías por segundo. Tomando de base la Ecuación 6, el gasto energético se obtiene por medio de la Ecuación 7,

$$GE = \frac{MET * 0,0175 * m}{60} \quad \text{Ecuación 7}$$

donde  $GE$  es el gasto energético medido en kcal/s.

Además, dentro de los valores MET existentes es indispensable seleccionar aquellos relacionados a la actividad de caminar, los mismos que se detallan en la Tabla 1.5.

**Tabla 1.5.**

Valores MET de interés [35], [36].

Actividad	MET
Caminar (~3,2 km/h)	2,5
Caminar (~5,6 km/h)	3,8
Caminar (más de 6 km/h)	5,0

### 1.3. Marco legal

En esta sección se describe la normativa legal y reglamentación relacionados al cuidado y protección de los animales, en los cuales se basa el desarrollo del proyecto.

#### 1.3.1. Normativa internacional

A continuación, se detalla los reglamentos sobre la normativa legal de carácter internacional.

##### 1.3.1.1 Declaración Universal de los Derechos del Animal <sup>1</sup>

###### Art. 1

*Todos los animales nacen iguales ante la vida y tienen los mismos derechos a la existencia.*

<sup>1</sup> Liga Internacional de los Derechos del Animal, Declaración Universal de los Derechos del Animal. 1977.

## **Art. 2**

- *Todo animal tiene derecho al respeto.*
- *El hombre, como especie animal, no puede atribuirse el derecho de exterminar a los otros animales o de explotarlos, violando ese derecho. Tiene la obligación de poner sus conocimientos al servicio de los animales.*
- *Todos los animales tienen derecho a la atención, a los cuidados y a la protección del hombre.*

### **1.3.1.2 Código Sanitario para Animales Terrestres - OMSA <sup>2</sup>**

#### **Art. 7.1.1**

*El término bienestar animal designa el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las vive y muere.*

*Un animal experimenta un buen bienestar si está sano, cómodo, bien alimentado, en seguridad, y si no padece sensaciones desagradables como dolor, miedo o desasosiego y es capaz de expresar comportamientos importantes para su estado de bienestar físico y mental.*

*Un buen bienestar animal requiere prevenir enfermedades, cuidados veterinarios apropiados, refugio, manejo y nutrición, un entorno estimulante y seguro. Mientras que el concepto de bienestar animal se refiere al estado del animal, el tratamiento que recibe se designa con otros términos como cuidado de los animales, cría de animales o trato compasivo.*

#### **Art. 3.2.1**

<sup>2</sup> Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA), Código Sanitario para los Animales Terrestres. 2004.

*El cumplimiento de las normas de calidad es fundamental para que los Servicios Veterinarios logren sus objetivos en materia de sanidad animal, bienestar animal y salud pública veterinaria.*

**Art. 3.2.4**

*Los Servicios Veterinarios deberán disponer de recursos físicos funcionales y bien mantenidos y de recursos operativos adecuados para las actividades planeadas y en curso.*

**1.3.2. Normativa nacional**

A continuación, se describe los reglamentos referentes a la normativa legal dentro del régimen nacional.

**1.3.2.1 Ley Orgánica de Bienestar Animal <sup>3</sup>**

**Art. 3**

*Son fines de la presente ley:*

- *Promover el bienestar de los animales y su cuidado.*
- *Prevenir y reducir la violencia interpersonal, así como entre los seres humanos y los animales.*
- *Fomentar la protección, respeto y consideración hacia la vida animal.*
- *Implementar medidas preventivas y de reparación, y fortalecer el control de las acciones y omisiones que provoquen sufrimiento a los animales.*

<sup>3</sup> Asamblea Nacional del Ecuador, Ley Orgánica de Bienestar Animal (LOBA). 2015.

## **2. CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se tratará sobre los modelos de investigación y la metodología que se pretende seguir para desarrollar el proyecto. Se procede a desglosar el mismo en varias etapas y se detallan las actividades que se llevan a cabo para culminar por completo cada fase.

### **2.1. Modelo de investigación**

Dentro de este proyecto se aplica una investigación aplicada por motivo de que se busca aplicar conocimientos y destrezas en la resolución de un problema que, en este caso, se trata de implementar un sistema electrónico a una caminadora subacuática canina [37].

Primeramente, se aborda una investigación documental ya que se obtiene información de diversas fuentes bibliográficas como libros, revistas, documentos académicos, informes, artículos científicos, entre otros. Además, se ejecuta una investigación de campo ya que realizan visitas de campo al sitio donde se requiere la implementación del proyecto, esto con el fin de recopilar información relativa por medio de encuestas o entrevistas, y realizar pruebas de funcionamiento del prototipo [38].

El proyecto incluye también una investigación descriptiva debido a que se requiere recolectar información importante sobre las características, propiedades, dimensiones y aspectos técnicos de los componentes y materiales que se utilizan para construir el proyecto [39]. Adicionalmente, se contempla una investigación experimental por motivo de que se trata de una caminadora para hidroterapia canina, por lo tanto, el investigador requiere de observación y manipulación del sistema para realizar pruebas de funcionamiento y validación [40].

## **2.2. Diseño de la investigación**

En esta sección se describe de forma secuencial cada una de las actividades para llevar a cabo para cumplir con los requerimientos y especificaciones del proyecto, con el fin de brindar un enfoque detallado del procedimiento completo para desarrollar el proyecto.

### **2.2.1. Planificación introductoria del sistema electrónico**

La ejecución del proyecto empieza con una investigación bibliográfica sobre información relacionada al mismo y posteriormente el diseño del sistema electrónico en base a la obtención de parámetros y restricciones de diseño por parte de los beneficiarios.

**Fase 1:** Análisis de características de los sistemas electrónicos implementados en caminadoras caninas.

**Actividad 1.** Investigación sobre artículos e información de proyectos similares existentes: se realiza una búsqueda de información sobre contenido de aporte para comprender de mejor manera el proyecto en general.

**Actividad 2.** Elaboración del estado del arte: se reúnen trabajos similares al proyecto y se extrae información de utilidad.

**Actividad 3.** Búsqueda de información y disponibilidad de componentes tentativos: se indaga alternativas de elementos electrónicos y mecánicos que permitan cumplir las necesidades básicas del proyecto.

### **2.2.2. Desarrollo del sistema electrónico**

Una vez definida la planificación de diseño, en esta fase se elabora el sistema electrónico final utilizando los materiales y componentes seleccionados, y se procede a implementar físicamente en la estructura mecánica.

**Fase 2:** Desarrollo de los sistemas de control y medición, y la interfaz gráfica.

**Actividad 1.** Recolección de requerimientos provenientes de los beneficiarios: se aplica una entrevista con profesionales en veterinaria con el fin de identificar todos los requerimientos posibles para el prototipo.

**Actividad 2.** Cálculos requeridos: se determina ciertos valores admisibles para las variables que intervienen en el proceso, como valores técnicos de los componentes, tiempos de operación, entre otros.

**Actividad 3.** Selección y adquisición de componentes más apropiados para el sistema: se selecciona los componentes más apropiados que satisfagan con los requerimientos y se procede a realizar su adquisición en el medio local.

**Actividad 4.** Elaboración de diagramas generales del sistema: se elaboran los diagramas del sistema (bloques, esquemáticos, conexiones) para especificar los procesos presentes en la caminadora.

**Actividad 5.** Elaboración de circuito electrónico de conexiones y control de variables físicas requeridas: se realiza las conexiones entre los componentes electrónicos destinados para obtener datos de las variables deseadas y emitir señales de mando y control.

**Actividad 6.** Programación de la tarjeta controladora: se programa la placa controladora que gobierna a los sensores y actuadores del sistema.

**Actividad 7.** Colocación de la pantalla de visualización: se conecta desde la tarjeta microcontroladora una pantalla con el propósito de visualizar los valores de las variables medibles.

**Actividad 8.** Pruebas de funcionamiento electrónico: se realiza evaluaciones de funcionamiento de los componentes conectados con el fin de asegurar un correcto funcionamiento en la medición, control y visualización de variables requeridas.

**Actividad 9.** Diseño de los tableros eléctricos: una vez que se tienen los componentes conectados, se procede a diseñar el tablero eléctrico que contiene los circuitos electrónicos y elementos de mando, potencia y elementos de protección.

**Actividad 10.** Programación de la interfaz gráfica: se elabora una interfaz gráfica móvil de interacción con los usuarios con el fin de ejecutar las funciones disponibles y visualizar datos de la caminadora. La interfaz debe ser intuitiva y de fácil uso.

**Actividad 11.** Implementación del sistema electrónico en la estructura mecánica: se procede a realizar el montaje y conexión de todos los componentes electrónicos, tableros eléctricos y demás elementos en la estructura metálica principal.

### **2.2.3. Validación de funcionalidad**

Como última fase se procede a realizar pruebas de desempeño del sistema y cada uno de sus componentes electrónicos con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de estos.

**Fase 3:** Validación del funcionamiento del sistema.

**Actividad 1.** Pruebas de operatividad: en este punto se realizan las primeras evaluaciones para comprobar la funcionalidad del sistema en cada etapa.

**Actividad 2.** Análisis de resultados obtenidos: luego de constatar el funcionamiento en cada elemento del sistema, se procede a evaluar los resultados obtenidos durante las pruebas y se analiza los costos finales que tuvo el desarrollo del proyecto.

**Actividad 3:** Elaboración de documentación: se elabora los documentos técnicos entregables del proyecto como diagramas eléctricos, esquemas de conexión y el libro de tesis.

### 3. CAPÍTULO III: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Dentro de este capítulo se describe las especificaciones generales del sistema electrónico a implementar en la estructura de la caminadora subacuática y, en base a las mismas, se redacta la alternativa de solución que cubra los requerimientos del sistema.

Posteriormente se continúa con el desarrollo de los sistemas de control y medición de las variables físicas requeridas de la caminadora subacuática, con el respectivo diseño de la interfaz gráfica para registros.

#### 3.1. Especificaciones del sistema

En este apartado se determinan los parámetros y restricciones a tomar en cuenta para el desarrollo del proyecto.

**Costo.** La implementación mecánica y electrónica del sistema de hidroterapia canina debe tener un bajo costo de fabricación con relación a los dispositivos comerciales que tienen como referencia un costo promedio de 12.000 USD.

**Disponibilidad de componentes.** Se debe tener fácil acceso de materiales y elementos electrónicos dentro del mercado local.

**Compatibilidad.** Los componentes utilizados para desarrollar el sistema deben ser compatibles entre sí.

**Modularidad.** El sistema electrónico por implementar debe ser de fácil montaje y desmontaje para el caso de que exista algún componente deteriorado.

**Resistencia.** Los materiales empleados deben ser aptos para la aplicación de rehabilitación con hidroterapia.

**Seguridad.** Se debe ofrecer seguridad a los pacientes y usuarios en todo momento.

**Ergonomía.** Se debe brindar comodidad tanto al paciente como al usuario mientras se realiza la sesión de rehabilitación.

**Datos e información.** La visualización de datos sobre las variables requeridas se lo realiza por medio de una interfaz gráfica sencilla e intuitiva para el usuario.

**Control.** Una interfaz gráfica táctil contiene las funciones disponibles para su respectiva ejecución. Además, existen botones físicos para las funciones básicas principales como encendido, apagado y emergencia.

**Confiabilidad.** La lectura de las variables del sistema deben ser valores cercanos a los valores reales.

**Dirigido a.** Centros veterinarios que brinden servicios de fisioterapia y rehabilitación para canes de razas grandes con síntomas de displasia de cadera.

### **3.2. Planteamiento de la solución**

Para el desarrollo del sistema de hidroterapia se realizó un estudio profundo sobre los factores que provocan la displasia de cadera en canes. Además, se investigó sobre procesos y tratamientos que ayudan a prevenir dicha enfermedad.

Se logró evidenciar que el padecimiento de displasia de cadera en algunos canes se debe a su genética, siendo aquellos de razas grandes los más propensos a padecer esta dolencia. Además, existen varios tratamientos conservadores que son de gran ayuda en la prevención de la enfermedad, por ejemplo, la hidroterapia canina.

Dentro de la modalidad de hidroterapia con cintas subacuáticas se requiere analizar ciertos factores que están relacionados con la rehabilitación del can, los cuales se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.**

Factores que influyen en la hidroterapia [20], [41].

<b>Temperatura</b>	<b>Nivel</b>	<b>Velocidad</b>
Mantener una temperatura entre 25° y 35°C.	El nivel de agua máximo es aproximadamente 0,50 m.	Entre 0,9 y 2 m/s (recomendada para canes medianos y grandes).

Una temperatura de agua apropiada ayuda a mejorar la flexibilidad de los tejidos, el metabolismo de las células, la circulación sanguínea y relaja el dolor. Al incrementar la profundidad de agua se logra soportar una menor cantidad de peso, lo que resulta beneficioso al realizar ejercicios enfocados en zonas específicas. La velocidad de la cinta debe estar acorde a la situación de cada paciente para obtener mejores resultados [20].

A continuación, se revisaron catálogos de equipos de hidroterapia con cinta subacuática existentes en el mercado internacional (Anexos 1, 2, 3). En la Tabla 3.2 se detallan las características de dichos equipos.

**Tabla 3.2.**

Máquinas de hidroterapia comerciales [4].

<b>Equipo/marca</b>	<b>Características</b>	<b>Precio referencial</b>
<b>AquaPaws</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura metálica fabricada en acero galvanizado de gran resistencia.</li> <li>- Paredes elaboradas con láminas de acrílico resistente.</li> <li>- Variación de velocidad desde 0,5 hasta 9 mph con aumentos de 0,1 mph (0,22 – 4,02 m/s).</li> <li>- Medidas referenciales 170 x 90 x 50 cm.</li> </ul>	13.050 USD
<b>Oasis system</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura metálica elaborada en acero galvanizado de gran resistencia.</li> <li>- Apertura y cierre de puerta magnético</li> <li>- Variación de velocidad desde 0,5 hasta 5 mph con aumentos de 0,1 mph (0,22 – 2,22 m/s).</li> <li>- Medidas referenciales 170 x 90 x 50 cm.</li> </ul>	11.600 USD

<b>Equipo/marca</b>	<b>Características</b>	<b>Precio referencial</b>
<b>HP 200</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura metálica elaborada en acero galvanizado de gran resistencia.</li> <li>- Diseño de entrada con puertas de doble ingreso.</li> <li>- Variación de velocidad desde 0,5 hasta 5 mph con aumentos de 0,1 mph (0,22 – 2,22 m/s).</li> <li>- Medidas referenciales 180 x 73 x 50 cm.</li> </ul>	12.325 USD

Para formular la solución se aplicó un formato de entrevista (Anexo 4) a especialistas en veterinaria para recolectar abundante información con respecto a las condiciones actuales del sitio veterinario, procedimientos realizados para la displasia de cadera, importancia del proyecto y opiniones. En los Anexos 5 y 6 se muestran las autorizaciones para las entrevistas.

La Tabla 3.3 contiene los aspectos más importantes con respecto a los requerimientos del sistema, tomando como base el análisis de los datos conseguidos durante la entrevista.

**Tabla 3.3.**

Requerimientos obtenidos de la entrevista.

<b>Requerimientos de usuario</b>	<b>Requerimientos técnicos</b>	<b>Prioridad</b>		
		<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
<b>Agua temperada</b>	Utilización de un sistema exterior de calentamiento de agua.			X
<b>Control de velocidad de la cinta</b>	Utilización de un reductor y un regulador de velocidad para motor.			X
<b>Recirculación de agua</b>	Conducto de recirculación, incluye bomba y filtro de impurezas.		X	
<b>Rapidez en la entrada y salida de agua</b>	Algunas entradas de agua con tubos de amplio diámetro.			X
<b>Medición de variables requeridas</b>	Sensores resistentes y sumergibles en el agua.		X	
<b>Visualización de datos</b>	Interfaz gráfica de visualización de datos.			X

Requerimientos de usuario	Requerimientos técnicos	Prioridad		
		Baja	Media	Alta
Resistencia de los equipos	Aptos para trabajar con agua.			X
Ejecución de funciones	Interfaz de funciones táctiles.		X	

Una vez obtenidos los requerimientos de la entrevista se definió los requisitos y restricciones que debe cumplir el sistema para que sea funcional (ver Tabla 3.4).

**Tabla 3.4.**

Requisitos y restricciones de la máquina.

Concepto	Propuesto	Requerimiento/ deseo	Descripción
<b>Eléctrico</b>	Diseñador	Requerimiento	La máquina debe funcionar a 220V.
<b>Dimensiones</b>	Cliente	Deseo	La máquina debe ser adecuada para una habitación y no tan difícil de transportar.
<b>Operación</b>	Cliente	Requerimiento	El manejo de la máquina debe ser simple.
<b>Materiales</b>	Diseñador	Requerimiento	Se debe utilizar materiales disponibles en el mercado nacional.
<b>Ergonomía</b>	Cliente	Deseo	Deber ser de uso adecuado y cómodo para el usuario y paciente.
<b>Precio</b>	Cliente	Deseo	Bajo costo con respecto a las máquinas comerciales.
<b>Velocidad</b>	Diseñador	Requerimiento	La cinta debe moverse en tres niveles de velocidad y encontrarse en un rango entre 0,9 m/s y 2 m/s.
<b>Temperatura</b>	Cliente	Requerimiento	La temperatura del agua debe estar entre 25 y 35 °C.
<b>Nivel de agua</b>	Cliente	Requerimiento	Debe ingresar a la cabina el nivel de agua que se especifique.
<b>Llenado/ vaciado</b>	Cliente	Deseo	Tiempo corto, menor a 10 minutos.
<b>Ejecución/ monitoreo</b>	Cliente	Requerimiento	Manejo y monitoreo de funciones a través de un dispositivo móvil táctil conectado a un sistema embebido

### **3.3. Descripción general del sistema**

Tomando como base las restricciones y especificaciones de diseño obtenidas previamente para cumplir los requisitos de la máquina se propone la respectiva solución que satisfaga las necesidades del sistema.

El presente proyecto consiste en el desarrollo del sistema electrónico para una cinta subacuática que cuenta con una estructura fabricada de acero inoxidable, con paredes de vidrio templado transparente que favorece la visualización del can durante la terapia. El sistema electrónico permite el control y monitoreo de funciones como ejecutar el ingreso y salida de agua, controlar la velocidad de la cinta caminadora, medir las variables físicas deseadas y visualizar datos de registro en una interfaz gráfica.

Se cuenta con un reservorio de agua que facilita el almacenamiento y posterior calentamiento de agua. Mediante electroválvulas se habilita el paso de agua para el respectivo llenado y vaciado de la cabina. El manejo y supervisión del funcionamiento se lo realiza por medio de un sistema embebido y una aplicación gráfica elaborada en el software MIT App Inventor para visualizar y regular las variables de consideración en el sistema. La interfaz gráfica se encuentra implementada en un dispositivo electrónico móvil con funciones táctiles y se conecta inalámbricamente con el sistema embebido a través de Bluetooth.

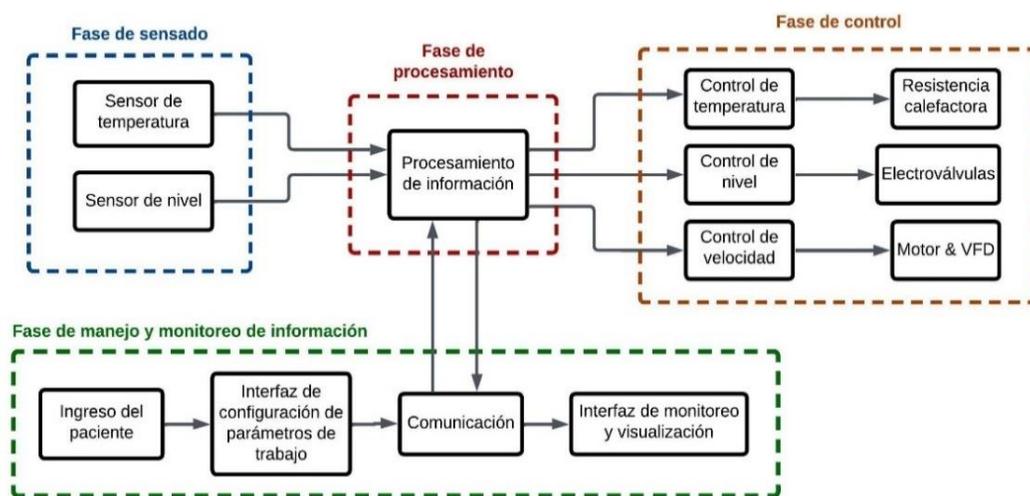
Es importante mencionar que el ingreso y salida del paciente al sistema de hidroterapia se debe realizar con el equipo libre de agua y la cinta detenida.

### **3.4. Diseño del sistema electrónico**

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques del sistema de hidroterapia, el cual está dividido en cuatro fases: sensado, procesamiento, control, y manejo y monitoreo de información.

**Figura 3.1.**

Diagrama de bloques del sistema de hidroterapia.



### 3.4.1. Fase de sensado

En esta fase se obtienen las señales que corresponden a las variables físicas requeridas en el sistema por medio de componentes electrónicos destinados a detectar dichas señales. A continuación, se detallan los sensores utilizados en la detección.

#### 3.4.1.1 Termocupla tipo K

Teniendo en cuenta se requiere que el sensor sea sumergido en agua, se determinó utilizar sensores termocupla tipo K, ya que sirven para medir la temperatura en líquidos. En la Tabla 3.5 se observa las principales características de dicho sensor de temperatura.

**Tabla 3.5.**

Información sobre termocupla tipo K [42].

Característica	Detalle
<b>Voltaje de Operación</b>	5 VDC
<b>Corriente de trabajo</b>	50 mA
<b>Transmisor</b>	MAX6675
<b>Rango de temperaturas termocupla</b>	-200 hasta 1.300°C

Característica	Detalle
<b>Resolución de transmisor MAX6675</b>	12 bits (0 °C – 1.023 °C)
<b>Resolución de temperatura</b>	0,25 °C
<b>Modo de salida</b>	SPI
<b>Dimensiones</b>	25 x 15 x 13 mm
<b>Longitud cable</b>	36,5 cm
<b>Longitud total</b>	49 cm

### 3.4.2. Fase de procesamiento de datos

En esta fase se contempla la unidad central que realiza la adquisición y tratamiento de las señales que provienen de los sensores.

#### 3.4.2.1 Tarjeta embebida Arduino UNO

Teniendo en cuenta elegir una opción que sea de fácil programación, compatible con los sensores utilizados y que disponga de suficientes entradas y salidas. Se optó por utilizar la placa Arduino UNO ya que cumple con los requerimientos de uso. En la Tabla 3.6 se detalla las especificaciones de la tarjeta Arduino UNO.

**Tabla 3.6.**

Información sobre la tarjeta Arduino UNO [43].

Característica	Detalle
<b>Microcontrolador</b>	ATmega328
<b>Voltaje de Operación</b>	5V
<b>Voltaje de entrada (recomendado)</b>	7-12V
<b>Voltaje de entrada (límite)</b>	6-20V
<b>Pines digitales I/O</b>	14 (6 con salida PWM)
<b>Pines de entrada análogos</b>	6
<b>Corriente DC por pin I/O</b>	40 mA
<b>Memoria Flash</b>	32 kB (ATmega328) 0.5 KB usado por bootloader
<b>SRAM</b>	2 kB (ATmega328)
<b>EEPROM</b>	1 kB (ATmega328)
<b>Velocidad de Reloj</b>	16 MHz

### **3.4.3. Fase de manejo y monitoreo de información**

Esta fase básicamente consiste en la interacción entre el sistema y el usuario por medio de una interfaz gráfica de manejo y supervisión. A continuación, se detallan los recursos y materiales utilizados.

#### **3.4.3.1 Softwares de desarrollo**

Para la programación del sistema embebido se decidió usar el software IDE Arduino ya que es compatible con la tarjeta empleada en el procesamiento de información y admite el uso de librerías como max6675, Wire y LiquidCrystal\_I2C que son indispensables para obtener los datos deseados y enviarlos para su visualización. El programa desarrollado en IDE Arduino se muestra en el Anexo 7.

Adicionalmente, el desarrollo de la interfaz gráfica se lo realizó en la plataforma MIT App Inventor, ya que es capaz de crear aplicaciones para dispositivos Android, es gratuito y de fácil programación e implementación. Además, se dispone de funciones no visibles en la aplicación, como la función Bluetooth, notificaciones de alerta y funciones de tiempo y reloj, que son útiles para compartir y recibir datos e información que ocurren en un sistema físico externo. La aplicación diseñada en MIT App Inventor se describe con más detalles en la sección 3.4.7.

#### **3.4.3.2 Módulo Bluetooth**

Para establecer una comunicación inalámbrica entre la interfaz y el sistema embebido implementado, que sea compatible con los componentes utilizados, sea fiable y sencilla de implantar se decidió utilizar un módulo Bluetooth, el mismo que cumple con dichos requisitos. En la Tabla 3.7 se describe los datos técnicos de este módulo.

**Tabla 3.7.**

Datos técnicos del módulo Bluetooth [44].

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Modelo</b>	HC-06 (esclavo)
<b>Voltaje de operación</b>	3,6 - 6 VDC
<b>Corriente de operación</b>	40 mA
<b>Corriente modo sleep</b>	1 mA
<b>Alcance</b>	10 metros
<b>Velocidad de comunicación</b>	1.200 bps a 1,3 Mbps
<b>Baud Rate</b>	Ajustable (por defecto 9.600)

### 3.4.3.3 Pantalla LCD

Adicionalmente, se decidió implementar una pantalla fija para visualización de datos a los usuarios. Se optó por utilizar una pantalla de cristal líquido (LCD) con I2C, ya que se adapta a la necesidad de proyectar información y es compatible con el sistema implementado. La Tabla 3.8 contiene las especificaciones técnicas de esta pantalla.

**Tabla 3.8.**

Datos técnicos de la pantalla LCD con I2C [45].

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Alimentación</b>	5 VDC
<b>Interfaz</b>	I2C (dirección 0x27)
<b>Pines</b>	4 (VCC, GND, SDA, SCL)
<b>Luz de fondo</b>	Backlight led azul
<b>Alcance</b>	10 metros
<b>Ángulo de visión</b>	Amplio
<b>Contraste</b>	Alto
<b>Resolución</b>	4 líneas x 20 caracteres
<b>Consumo de corriente</b>	25 mA máx
<b>Peso</b>	80 g
<b>Dimensión del módulo</b>	80 x 35 x 12mm
<b>Tamaño de la zona de display</b>	64,5 x 16mm

#### **3.4.4. Fase de control**

Esta fase consiste en el envío de señales para activar los dispositivos de actuación. A continuación, se detallan los actuadores utilizados en el control de procesos.

##### **3.4.4.1 Motor**

Para brindar movimiento a la cinta es necesaria la instalación de un motor. Se tomó en cuenta los cálculos proporcionados por la parte de construcción mecánica que, a su vez, se basó en ciertos parámetros como el peso de la estructura metálica, peso máximo del can, consumo y disposición de energía eléctrica, entre otros. Finalmente se optó por un motor de corriente alterna trifásico. La Tabla 3.9 muestra las características y especificaciones del motor seleccionado para el proyecto.

**Tabla 3.9.**

Información sobre el motor seleccionado [46].

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Marca</b>	WEG
<b>Modelo</b>	Cerrado
<b>Potencia HP (kW)</b>	2,0 (1,5)
<b>Tensión V</b>	220/380/440
<b>Corriente A</b>	6,00/3,47/3,00
<b>Tipo Carcasa</b>	90S
<b>Medida eje mm</b>	24,00
<b>RPM</b>	1.745
<b>Polos</b>	4
<b>Temperatura ° C</b>	130
<b>Alto mm</b>	230
<b>Largo mm</b>	390
<b>Ancho mm</b>	310
<b>Peso g</b>	19.100

### 3.4.4.2 Reductor

Teniendo en cuenta la adaptabilidad con el motor y el rango de velocidad apropiado, se escogió un reductor de velocidad de tipo ortogonal que satisface dichos requisitos. En la Tabla 3.10 se describe las características del reductor seleccionado.

**Tabla 3.10.**

Información sobre el reductor seleccionado [47].

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Tipo</b>	Ortogonal
<b>Material</b>	Aluminio
<b>Eje</b>	Hueco
<b>Mecanismo</b>	Tornillo sin fin
<b>Salida</b>	300 – 600 rpm
<b>Accesorio adicional</b>	Brida (incluida)

### 3.4.4.3 Variador de frecuencia

La regulación de velocidad se realiza por medio de un variador de frecuencia apropiado para el motor escogido anteriormente. Para la selección del variador de frecuencia se analizó la potencia y compatibilidad con el motor. Se escogió el variador HV10, el cual cuenta con las características descritas en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11.**

Información sobre el variador de frecuencia seleccionado [48].

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Marca</b>	HNC
<b>Modelo</b>	HV10x1R5G12
<b>Potencia</b>	2 hp
<b>Tensión</b>	220 V
<b>Corriente</b>	7 A
<b>Operación</b>	2 F

#### 3.4.4.4 Resistencia calefactora

Para elevar la temperatura del agua en el reservorio se requiere de una resistencia calefactora de inmersión, y para su selección se procedió a calcular la potencia que se requiere para obtener la temperatura deseada. Se empezó definiendo el volumen máximo de agua a calentar, que son 500 litros. Además, se considera que la densidad del agua es igual a  $1 \text{ g/cm}^3$  y el volumen de agua es equivalente a  $500.000 \text{ cm}^3$ . Aplicando la Ecuación 3, se obtuvo el siguiente valor de masa de agua:

$$m = 500 \text{ kg}$$

Se procedió a definir un valor aproximado de  $23^\circ\text{C}$  como temperatura ambiente [49], y un valor promedio de  $30^\circ\text{C}$  como temperatura final debido a que dicha temperatura es ideal para una terapia eficaz. Además, se sabe que el calor específico del agua es igual a  $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ . Aplicando la Ecuación 2, se obtuvo el siguiente valor de energía calorífica necesaria:

$$Q = 3.500 \text{ kcal}$$

Es necesario convertir el valor de energía en unidades de joules (J), para ello se conoce que 1 caloría es igual a 4,186 J. Se obtuvo la siguiente conversión de energía:

$$Q = 14.651 \text{ kJ}$$

Se prosiguió a definir un lapso estimado de 40 minutos para realizar la calefacción, lo que equivale a 2.400 segundos. Finalmente, haciendo uso de la Ecuación 1 se obtuvo el siguiente valor de potencia aproximada:

$$P = 6,10 \text{ kW}$$

Se optó por utilizar resistencias de tipo industrial teniendo en cuenta valores comerciales. Por motivos de costos en relación con la energía consumida se optó por fabricar una resistencia adaptable al reservorio, la misma que brinda una potencia total de 4,5 kW para cumplir cercanamente con la potencia solicitada, lo cual influye en el tiempo de

calentamiento, pero representa un ahorro en el consumo energético. En la Tabla 3.12 se muestra los datos técnicos de la resistencia calefactora fabricada.

**Tabla 3.12.**

Información sobre la resistencia calefactora seleccionada.

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Tipo</b>	Tubular aleteada
<b>Potencia</b>	4,5 kW
<b>Tensión</b>	220 V
<b>N° de hilos</b>	3
<b>Longitud</b>	70 cm

#### 3.4.4.5 Electroválvulas

El ingreso y salida de agua durante el ciclo de terapia se lo realiza por medio de electroválvulas. Se analizó la cantidad de agua a utilizar para obtener un tiempo adecuado para el llenado y vaciado de la cabina. Se decidió utilizar electroválvulas de 3 y 2 pulgadas ya que cumplen la condición de llenado y vaciado en un tiempo admisible. En la Tabla 3.13 se describen las características de las electroválvulas.

**Tabla 3.13.**

Información sobre electroválvulas seleccionadas.

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Marca</b>	Voltium
<b>Material</b>	Plástico
<b>Diámetro de la válvula</b>	2 y 3 pulgadas
<b>Accionamiento</b>	Solenoide
<b>Forma de conexión</b>	Rosca interna NTP
<b>Dirección de flujo</b>	Unidireccional
<b>Tensión</b>	24 VAC – 50/60 Hz
<b>Modo de acción</b>	Acción directa

### 3.4.4.6 Bomba de recirculación

Para la selección de la bomba se tomó en cuenta el nivel de flujo que puede recircular para brindar una función de hidromasaje y la necesidad de filtrar los residuos del agua. En la Tabla 3.14 se detalla las características de la bomba seleccionada.

**Tabla 3.14.**

Información sobre bomba recirculadora seleccionada [50].

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Marca</b>	Bestway
<b>Flujo</b>	330 galones/h (1.135 L/h)
<b>Tensión</b>	110 – 120 V
<b>Corriente</b>	0,2 A
<b>Función de filtrado</b>	Desechos de hasta 10 – 15 micras
<b>Forma de conexión</b>	Rosca interna
<b>Peso</b>	2,14 kg
<b>Dimensiones</b>	27 x 27 x 25 cm
<b>Temperatura máxima</b>	35°C

### 3.4.4.7 Módulo Relé de 8 vías

Para accionar los actuadores durante el proceso de control se utilizó un módulo relé de 8 vías debido a la tensión con que funcionan dichos actuadores. Se utilizó 4 relés para el control de la resistencia calefactora, electroválvulas y bomba recirculadora. En la Tabla 3.15 se detalla la información técnica de este módulo relé.

**Tabla 3.15.**

Datos técnicos del módulo relé de 8 vías [51].

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Voltaje de operación</b>	5 VDC
<b>Señal de Control</b>	TTL (3.3V o 5V)
<b>Modelo Relay</b>	SRD-05VDC-SL-C

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Capacidad máx</b>	10A/250VAC, 10A/30VDC
<b>Corriente máx</b>	10A (NO), 5A (NC)
<b>Tiempo de acción</b>	10 ms / 5 ms
<b>Entradas</b>	Optoacopladas
<b>Indicadores de activación</b>	Leds

#### 3.4.4.8 Fuente de alimentación DC

Los componentes como sensores y módulos necesitan de una alimentación de 5 VDC. Para determinar la corriente necesaria se tomó en cuenta los consumos por parte de cada elemento. En la Tabla 3.16 se especifica los consumos de corriente individuales.

**Tabla 3.16.**

Consumo de corriente de componentes electrónicos [52], [42], [44], [45], [53], [54].

<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Consumo total</b>
1	Arduino UNO R3	46 mA
1	Módulo Bluetooth HC-06	40 mA
1	Módulo relé 8 vías	360 mA
1	LCD 2004 con interfaz I2C	25 mA
2	Termocupla tipo K con MAX6675	100 mA

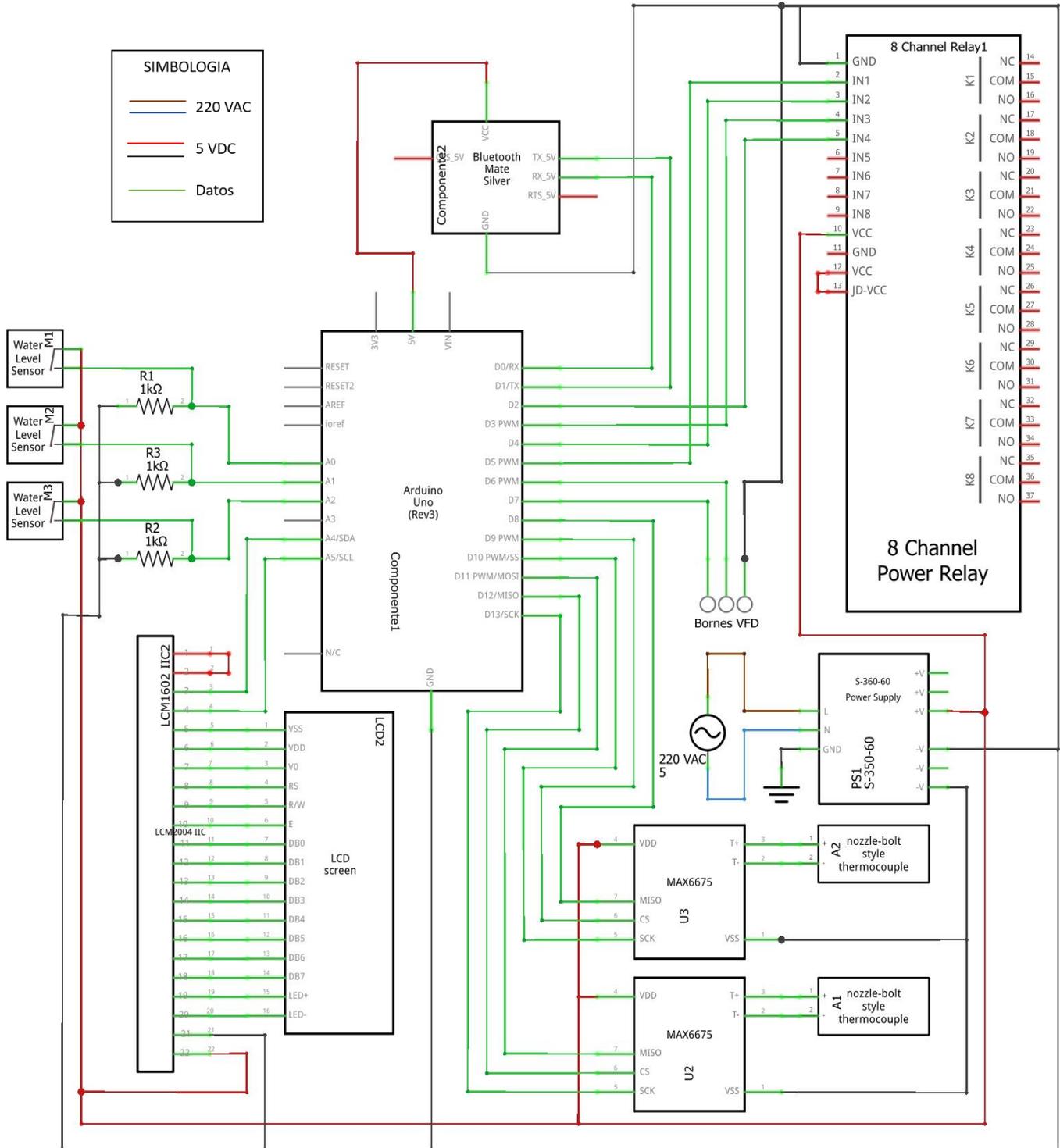
Se obtuvo un amperaje total de 571 mA, por lo cual se utilizó una fuente de 5V y 1A.

#### 3.4.4.9 Placa electrónica de conexiones y control

Para realizar el envío y recepción de señales, energizar los sensores y módulos, encendido y apagado de relés, se requirió el diseño de una placa electrónica, la cual establece las conexiones con la placa Arduino y, además, cuenta con una entrada para la alimentación externa de 5V. En la Figura 3.2 se observa el diagrama esquemático realizado con sus respectivas conexiones entre elementos utilizando el software de diseño electrónico Fritzing, ya que dispone de una variedad de componentes electrónicos y una forma de trabajo creativa.

**Figura 3.2.**

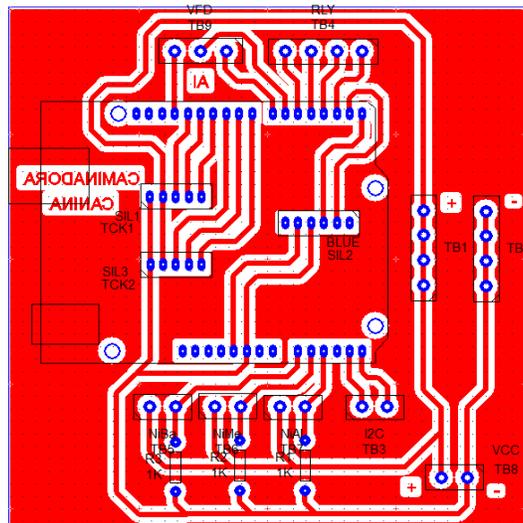
Diagrama esquemático de la placa electrónica.



La Figura 3.3 contiene el diseño de la placa PCB, siguiendo el diagrama esquemático y utilizando el software PCB Wizard, que se caracteriza por ser de fácil uso y portable.

**Figura 3.3.**

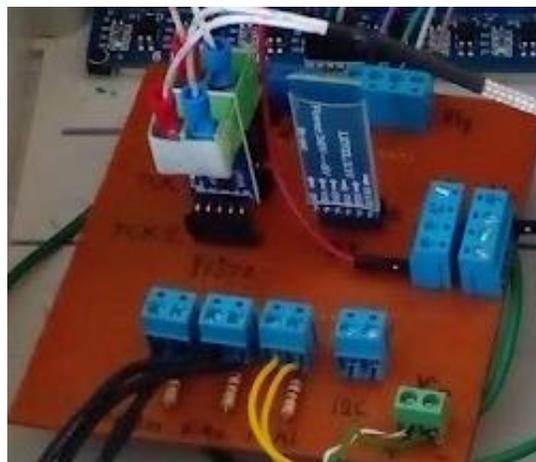
Diseño PCB placa de conexiones y control.



Para elaborar la placa se imprimió el diseño en baquelita mediante serigrafado. Se plasmó las pistas retirando el cobre sobrante para luego perforar y soldar conectores que unen a los componentes electrónicos. La placa electrónica elaborada se visualiza en la Figura 3.4.

**Figura 3.4.**

Placa electrónica diseñada.



### ***3.4.5. Prueba en elementos por separado***

Se realizó las pruebas de los siguientes componentes por separado con el fin de verificar que funcionen con normalidad y que no existan daños.

- Motor con variador de frecuencia: se verificó la conexión entre ambos elementos y se inició el arranque del motor por medio de la regulación de la frecuencia desde el variador de forma manual.
- Resistencia calefactora: se conectó directamente a la energía para constatar el calentamiento de los tres hilos que componen la resistencia
- Bomba recirculadora: se comprobó la recirculación en la bomba con la ayuda de un volumen de agua considerable presente en la estructura mecánica.
- Electroválvulas: utilizando un transformador de 24 VAC, se accionó el solenoide que atribuye el paso del agua en ambas válvulas.
- Sensores, módulos y otros componentes electrónicos: se realizó las respectivas conexiones en la placa Arduino, y se confirmó la transferencia de datos y señales.
- Reservorio, tubos y otros accesorios: se revisó que todos los elementos estén en buen estado y sean adaptables entre sí para realizar el transporte de agua desde el reservorio.

### ***3.4.6. Cálculo de costo por uso del sistema de hidroterapia***

Para poner en funcionamiento la máquina es indispensable el uso de recursos como la energía eléctrica y agua de red pública, por tal motivo se realizó una estimación en cuanto a los costos para garantizar la viabilidad de la máquina.

Se hizo uso de las ecuaciones sobre potencia eléctrica (Ecuación 4 y Ecuación 5), y se tomó en cuenta las tablas con la información técnica de todos los componentes eléctricos

para definir sus consumos. La Tabla 3.17 contiene los valores de energía consumida medidos en kilovatios-hora (kWh).

**Tabla 3.17.**

Consumo de energía de componentes electrónicos.

Componente	Tiempo de uso	Potencia consumida	Energía consumida
<b>Motor WEG 2 hp con variador HV10</b>	30 minutos (0,5 h)	2,28 kW	1,14 kWh
<b>Resistencia calefactora</b>	40 minutos (0,66 h)	4,5 kW	2,97 kWh
<b>Bomba recirculadora</b>	30 minutos (0,5 h)	0,022 kW	0,011 kWh
<b>Electroválvulas Voltium</b>	10 minutos (0,16 h)	0,012 kW	0,002 kWh
<b>Sensores, módulos y otros componentes</b>	60 minutos (1,0 h)	0,003 kW	0,003 kWh

Sumando cada consumo eléctrico se obtuvo un valor total aproximado de 4,126 kWh.

En el país, la tarifa nacional promedio del servicio eléctrico es de 0,092 USD por cada kWh [55]. Aplicando este arancel se estimó un costo de energía aproximado de 0,38 USD.

En cuanto al consumo de agua, se supone una tarifa de consumo básico, la cual tiene un costo de 0,31 USD por metro cúbico dentro del rango de 0 a 8 m<sup>3</sup> mensuales [56]. Se tomó en cuenta la capacidad máxima del reservorio 0,5 m<sup>3</sup> (500 litros). Aplicando esta tarifa se estimó un costo de agua de 0,155 centavos de dólar.

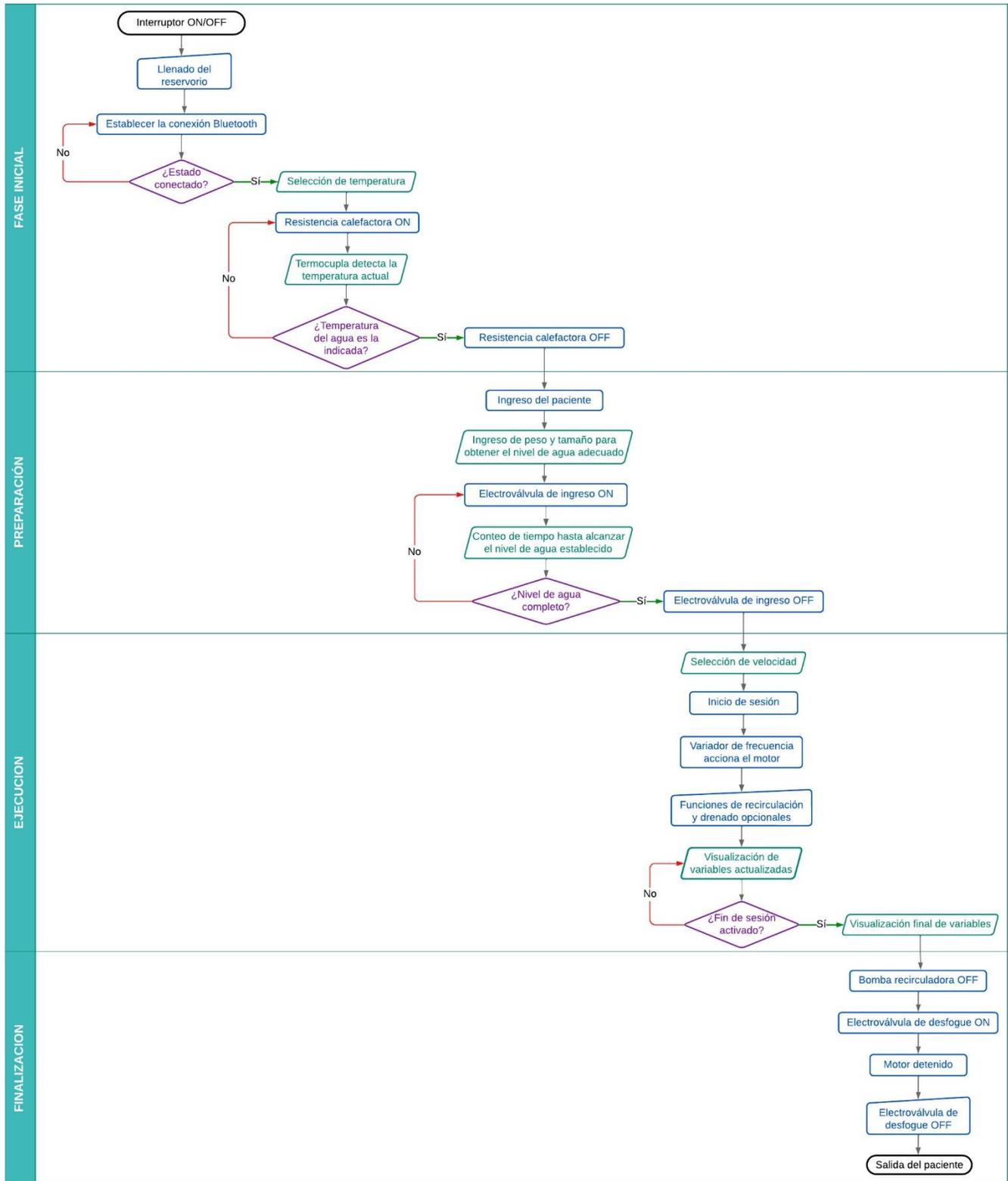
Finalmente, se definió que, por concepto de tarifas de luz y agua, se obtuvo un costo total aproximado de 53,5 centavos de dólar (0,53 USD) por cada sesión de hidroterapia.

### **3.4.7. Desarrollo de la interfaz gráfica**

Para desarrollar la interfaz gráfica se definió previamente el proceso secuencial con los eventos que se deben seguir para el funcionamiento de la máquina. En la Figura 3.5 se visualiza el diagrama de flujo del sistema de hidroterapia.

**Figura 3.5.**

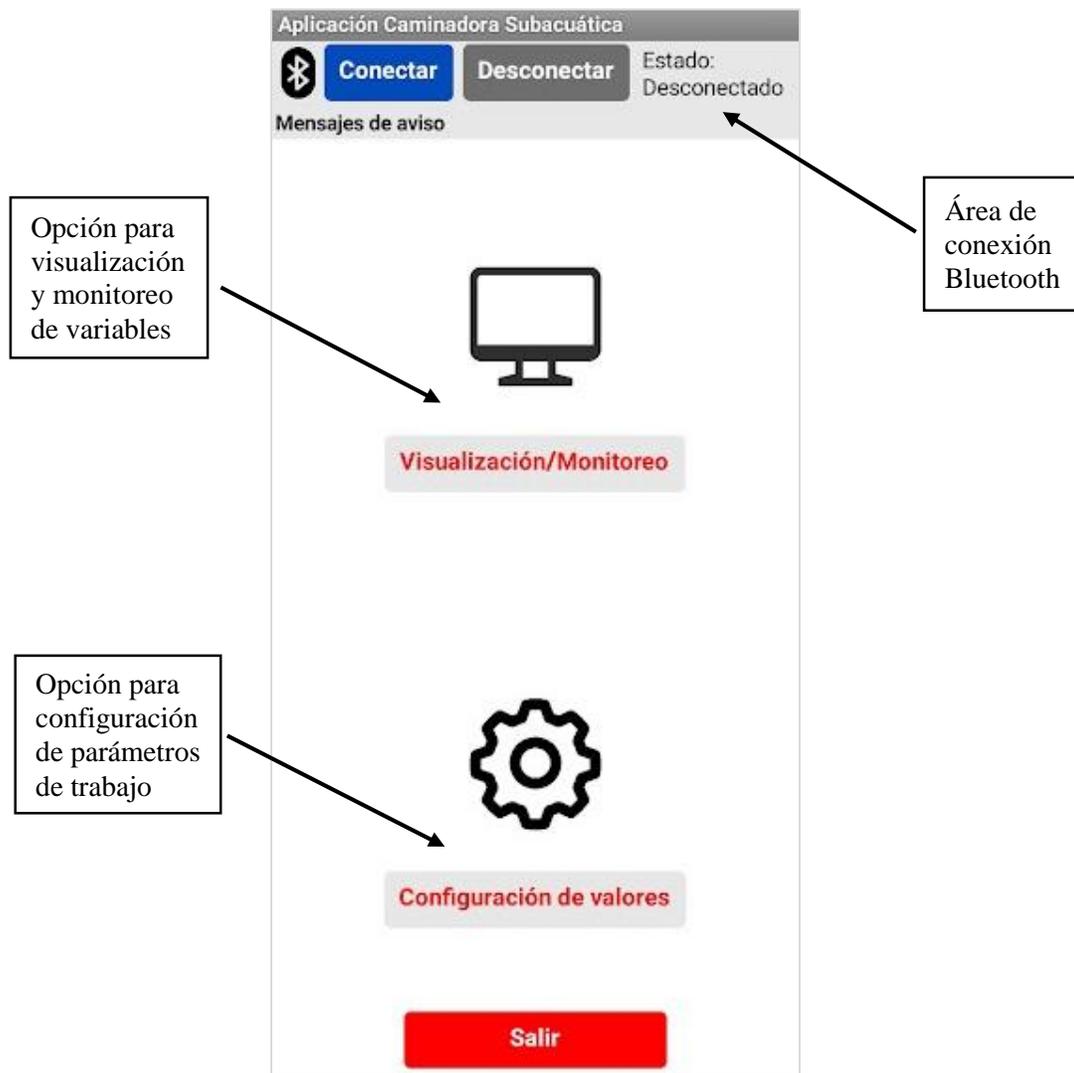
Diagrama de flujo del sistema de hidroterapia.



Para el diseño de la interfaz, se hizo uso de las múltiples funciones y herramientas que ofrece el entorno de App Inventor para realizar el diseño y programación de tres ventanas: menú principal, visualización y configuración de valores. Además, se implementó un área específica para establecer o deshacer la conexión Bluetooth. La Figura 3.6 muestra el diseño de la ventana menú principal, en la cual es posible acceder a la configuración de parámetros de trabajo, ir a la visualización de variables, o bien, salir de la aplicación móvil.

**Figura 3.6.**

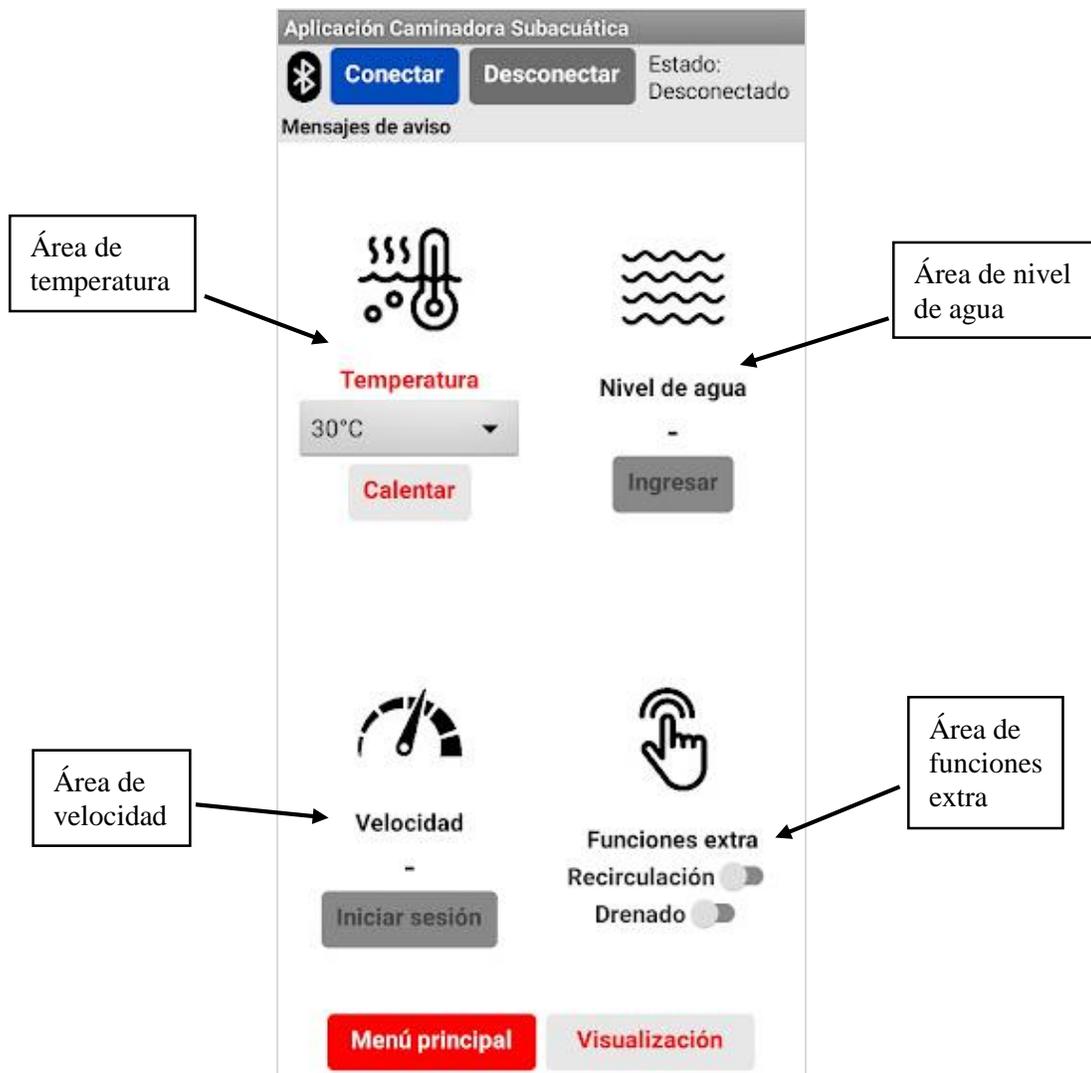
Ventana menú principal.



En la Figura 3.7 se observa el diseño de la ventana de configuración donde se contempla las opciones para seleccionar las condiciones de trabajo conforme a los criterios del especialista previo a iniciar la sesión de hidroterapia. Esta ventana se divide en áreas para configuración de temperatura, nivel de agua, velocidad y funciones extra. Además, cuenta con la opción para iniciar la sesión.

**Figura 3.7.**

Ventana de configuración de parámetros.



En la Figura 3.8 se visualiza el diseño de la segunda ventana, la cual abarca la visualización de las variables de interés para el especialista, como son temperatura, nivel de agua, velocidad de la cinta, tiempo transcurrido, distancia recorrida y gasto energético. Este último se calculó en base a la Ecuación 7. También cuenta con la opción para finalizar sesión.

**Figura 3.8.**

Ventana de visualización de datos.



Posteriormente se realizó la respectiva programación tanto en la tarjeta Arduino UNO como en la interfaz gráfica móvil, logrando así el intercambio de información y datos entre los dos sistemas para la ejecución de funciones y visualización de variables.

### 3.4.8. Implementación

Para la etapa de implementación, se definió un esquema general de conexiones entre los componentes que conforman la máquina (ver Anexo 10).

Se procedió a armar los tableros eléctricos considerando todos los componentes y circuitos necesarios para realizar sus respectivas conexiones, tanto en la parte de control como en la parte de potencia. Además, se incluye el paro de emergencia, luces piloto de aviso y selector On/Off.

**Figura 3.9.**

Conexión de tableros eléctricos.



Una vez definidos los gabinetes electrónicos con sus respectivos elementos se procedió a implementarlos en la estructura metálica, como se observa en la Figura 3.10. Se verifica que se encuentren correctamente ajustados.

**Figura 3.10.**

Montaje de tableros eléctricos.



Posteriormente se colocó los sistemas y elementos destinados a cumplir las diferentes funciones en la máquina. Se realizó la adaptación del reservorio de agua (se instaló aproximadamente a 2,70 m sobre el nivel del suelo) utilizando tubos PVC y acoples para transportar el agua desde el tanque hasta la cabina de rehabilitación, así también se utilizó accesorios para llevar a cabo el desfogue del agua utilizada. Además, se instaló las electroválvulas para controlar el paso de agua (ver Figura 3.11).

**Figura 3.11.**

Instalación del reservorio, tubos y electroválvulas.



Por último, se realizó una última verificación de todos los sistemas y materiales instalados previo a realizar las pruebas de funcionamiento.

### **3.5. Funcionalidad y pruebas de validación**

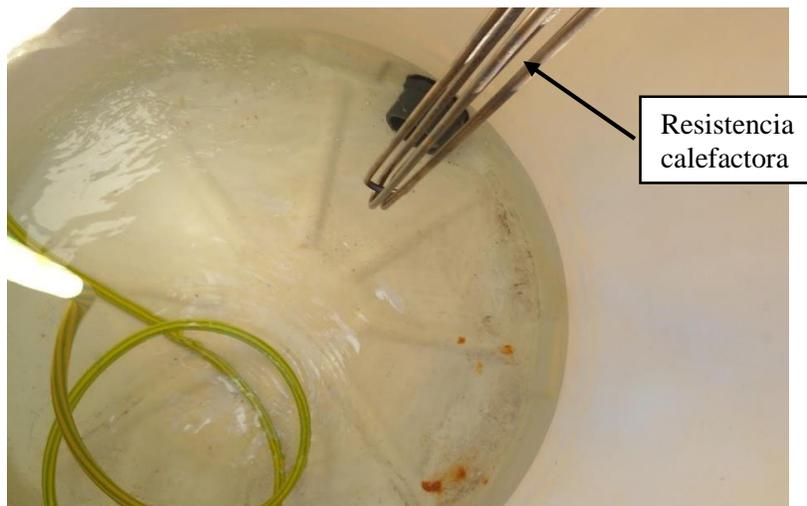
A continuación, se detalla cada proceso ejecutado durante la etapa de pruebas de funcionamiento.

#### **3.5.1. Fase inicial**

El ciclo de rehabilitación empieza con el encendido de la máquina que inicia con una notificación en la pantalla de visualización. Seguidamente se realiza el llenado manual de agua hacia el reservorio como se muestra en la Figura 3.12. Este proceso tuvo un tiempo aproximado de 30 minutos.

#### **Figura 3.12.**

Llenado manual del reservorio.



#### **3.5.2. Fase de preparación**

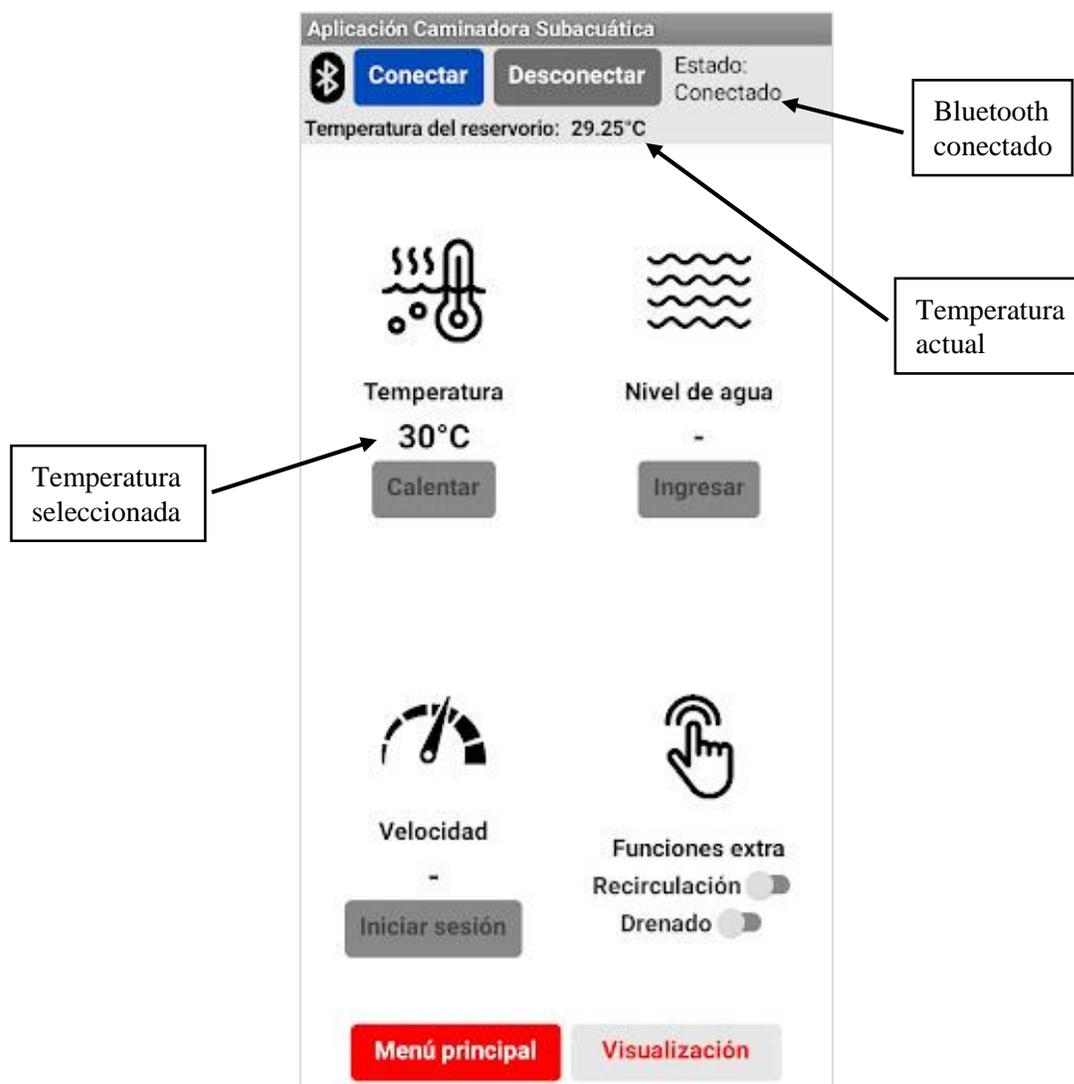
Una vez que completado el llenado del tanque, se estableció la conexión Bluetooth desde la interfaz gráfica y se procedió a seleccionar el nivel de temperatura deseado para

calentar el agua por medio de la resistencia calefactora, como se visualiza en la Figura 3.13.

Este proceso demoró alrededor de 35 minutos.

**Figura 3.13.**

Calentamiento de agua a temperatura seleccionada.

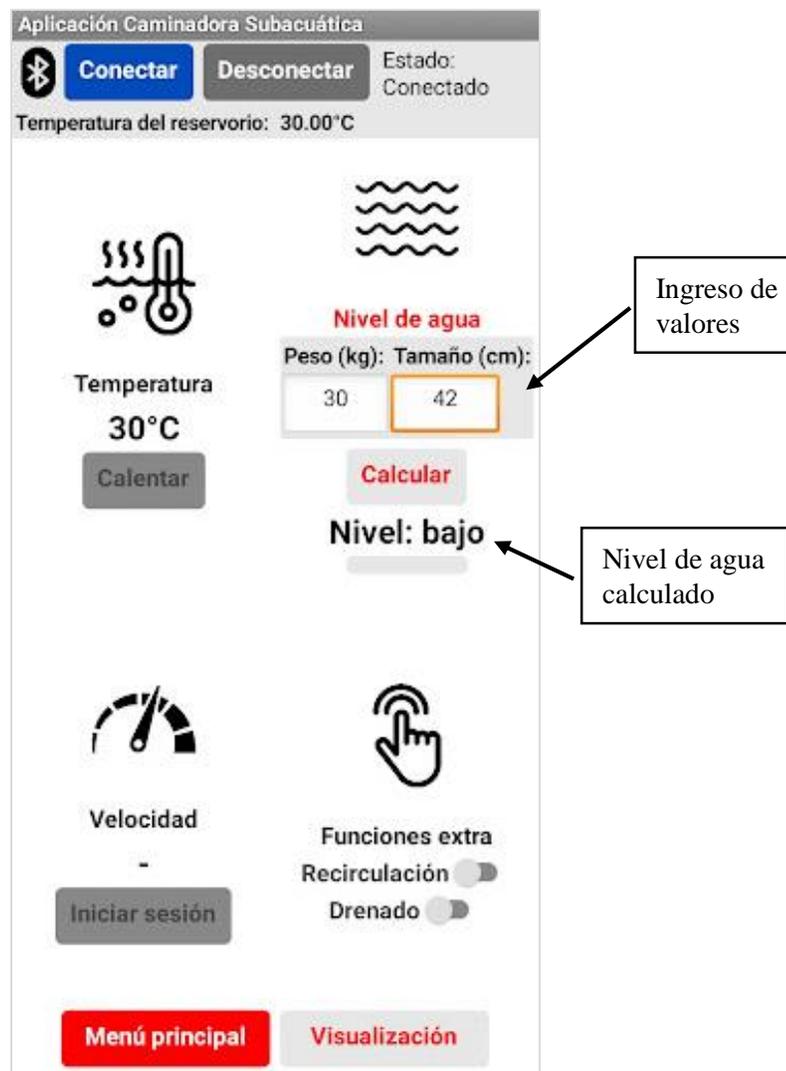


Se procedió con la obtención manual del peso y tamaño del paciente, y se prosiguió con el ingreso de este al interior de la caminadora. Seguidamente se ingresaron estos valores obtenidos en la interfaz para calcular el nivel de agua recomendado (ver Figura 3.14),

tomando como base las características descritas en la sección 1.2.1. Dicho nivel de agua se envió para poner en marcha el ingreso de agua a través de la respectiva electroválvula. Este proceso tuvo una duración estimada de 7 minutos.

**Figura 3.14.**

Ingreso de parámetros para nivel de agua.



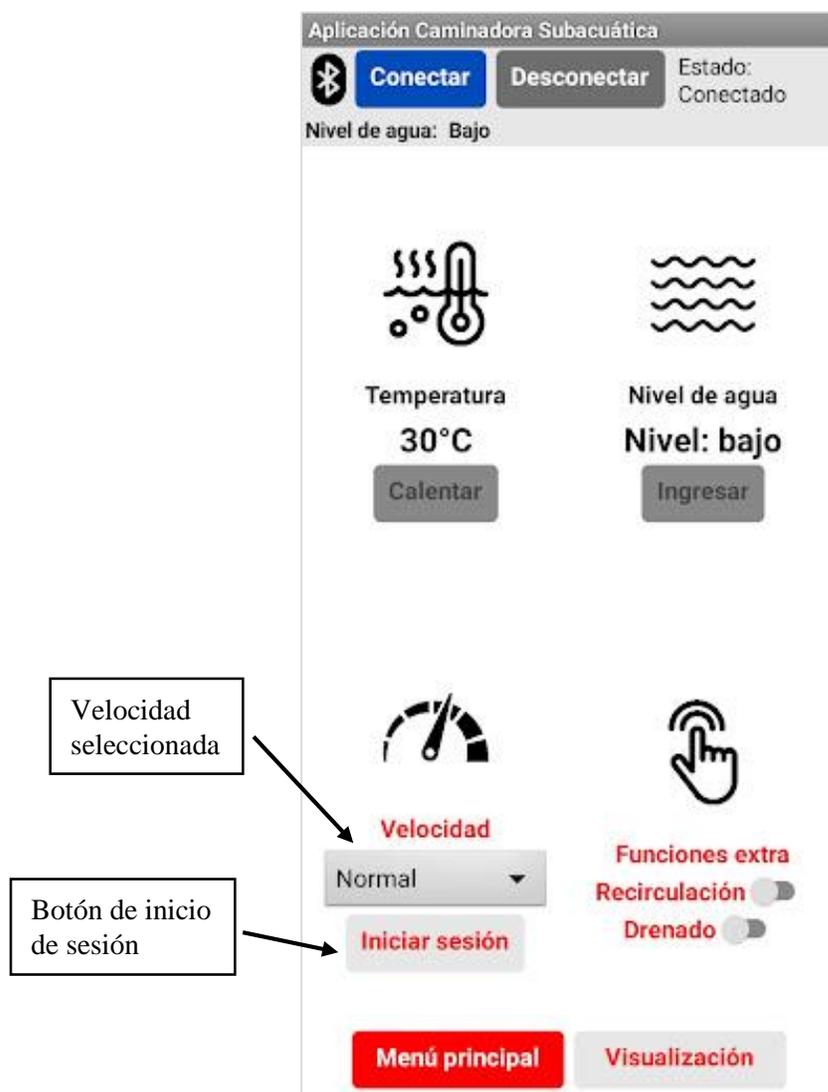
### 3.5.3. Fase de ejecución

Seguidamente se seleccionó la alternativa de velocidad de entre las opciones disponibles (baja, normal y alta) para accionar movimiento por medio del motor (ver Figura

3.15). Seguidamente se inició la sesión de hidroterapia con el paciente, como se observa en la Figura 3.16. A su vez, se inició la visualización de datos e información de las variables. Conforme a lo indicado por el especialista, este proceso podría durar entre 10 y 30 minutos.

**Figura 3.15.**

Selección de velocidad para iniciar la sesión.



**Figura 3.16.**

Sesión de rehabilitación con paciente.



Durante todo el proceso en general se mostró mensajes de información tanto en la pantalla LCD (ver Figura 3.17) como en la interfaz gráfica móvil (ver Figura 3.18) para visualización por parte de los usuarios.

**Figura 3.17.**

Visualización de información en pantalla LCD.



**Figura 3.18.**

Visualización de información en interfaz gráfica móvil.



#### ***3.5.4. Fase de finalización***

Finalmente, se puso fin a la sesión de hidroterapia por medio de la interfaz (ver Figura 3.19), deteniendo así todos los procesos y accionando el vaciado completo de agua de la cabina. Este proceso demora alrededor de 7 minutos.

**Figura 3.19.**

Ventana de fin de sesión de rehabilitación.



### **3.6. Análisis de resultados**

Se aplicó entrevistas a especialistas en veterinaria, obteniendo información de interés como una temperatura de agua promedio de 30°C (rango permisible entre 25 y 35°C), una velocidad ajustable (entre el rango de 0,9 m/s y 2 m/s), una cantidad máxima de peso para soportar (50 kg del can y 100 kg del especialista) y rapidez en el ingreso y salida de agua.

Con respecto al funcionamiento del sistema, se obtuvo la lectura de datos provenientes de los sensores, el control de la velocidad del motor utilizando un variador de frecuencia, el control del nivel de agua por medio de la activación de las electroválvulas, el control de la temperatura del agua mediante el encendido de la resistencia calefactora y la visualización de las variables físicas de interés a través de la interfaz gráfica móvil y la pantalla LCD.

Por otro lado, el análisis de costos obtenidos del sistema electrónico se detalla en los anexos 8 y 9.

## CONCLUSIONES

El sistema electrónico desarrollado se basa en un análisis sobre las caminadoras subacuáticas comerciales y entrevistas a expertos en rehabilitación canina, con el fin de extraer las características y datos técnicos involucrados en la implementación de esta, además se obtuvo como parámetros principales: velocidad de la cinta subacuática, temperatura y nivel del agua, siendo de gran utilidad en la definición de requerimientos a cumplir.

Asimismo, se diseñó una interfaz gráfica de usuario para dispositivos móviles, en la cual el fisioterapeuta tiene la opción de configurar el nivel de agua, temperatura de esta y velocidad de la cinta. También, puede visualizar el tiempo de rehabilitación y el gasto energético (en kilocalorías) del can.

Las pruebas de validación en cada elemento electrónico de la caminadora subacuática demostraron el correcto funcionamiento de las electroválvulas, la resistencia calefactora, el control de velocidad del motor, el control de la temperatura (On/Off), el control de nivel de agua y la interfaz gráfica.

## **RECOMENDACIONES**

Antes de poner en funcionamiento, es indispensable revisar las conexiones de alimentación eléctrica y sistema de agua para evitar posibles fallas y daños en sus componentes.

Ante cualquier situación anormal en el sistema se sugiere accionar inmediatamente el paro de emergencia, ya que algún componente podría estar averiado, generando problemas o interferencias en el sistema, y esto representa un peligro inminente para el can y el especialista.

Se recomienda tomar en cuenta y seguir las indicaciones de uso para poner el prototipo en funcionamiento.

## REFERENCIAS

- [1] C. P. Rivadeneira Macías, «Incidencia de displasia de cadera en perros que asisten a la consulta de la Clínica Veterinaria Dr. PET, diagnosticados mediante radiografía.», Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Guayaquil, Ecuador, 2016.
- [2] I. Alarcón, «La fisioterapia reduce el dolor en los perros», *Diario El Comercio*, 18 de noviembre de 2020. <https://www.elcomercio.com/tendencias/fisioterapia-reduce-dolor-perros-mascotas.html> (accedido 20 de agosto de 2022).
- [3] D. Villacís, «Mascotas lesionadas tienen más opciones de rehabilitarse», *Diario El Comercio*, 2014. <https://www.elcomercio.com/tendencias/mascotas-lesionadas-mas-opciones-de.html> (accedido 20 de agosto de 2022).
- [4] C. S. Moya Gamboa, «Sistema de hidroterapia en el tratamiento de displasia coxofemoral para perros de raza pequeña», Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, 2020.
- [5] J. Chiquoine, E. Martens, L. McCauley, y J. B. van Dyke, «Aquatic Therapy», en *Canine Sports Medicine and Rehabilitation*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2018, pp. 208-226. doi: 10.1002/9781119380627.ch9.
- [6] J. A. Ochoa Torres, «Diseño e implementación de un sistema de control inteligente aplicado a una caminadora para el entrenamiento cardio vascular eficiente», Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de la Fuerzas Armadas (ESPE), Sangolquí, Ecuador, 2018.
- [7] V. A. Rioseco Osses, «Diseño de controlador electrónico de bajo costo para duchas eléctricas», Facultad de Ingeniería, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile, 2018.
- [8] W. A. Ruiz Escalante, «Automatización de una cabina semi-hermética para el aseo de canes de raza pequeña», Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra, Ecuador, 2022.
- [9] S. R. Torres Gualsaqui, «Implementación de un sistema HMI mediante aplicaciones de código abierto para el control y monitoreo de un sistema dinámico real», Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra, Ecuador, 2021.

- [10] D. J. Córdova-Cando, L. A. Gaona-Cueva, F. F. Vivanco-Luzuriaga, y D. H. Cando-Jiménez, «Los canes y la conexión emocional en la infancia», *Polo del Conocimiento*, vol. 6, n.º 6, pp. 763-776, jun. 2021.
- [11] V. Galán, «Tipologías de razas perros», *SantéVet*, 24 de marzo de 2022. <https://www.santevet.es/articulo/tipologias-razas-caninas> (accedido 20 de agosto de 2022).
- [12] El Universo, «¿Cómo saber si un perro será grande o pequeño?», *El Universo*, 5 de diciembre de 2020. <https://www.eluniverso.com/larevista/2020/12/04/nota/8072458/como-saber-si-perro-sera-grande-o-pequeno/> (accedido 26 de julio de 2023).
- [13] J. S. Merizalde Londoño, «Prevalencia de la displasia de cadera, en individuos registrados en la Asociación Club Canino Colombiano, entre 1990 y 2014», Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2017.
- [14] A. Bustillo Ansoleaga, «Displasia de cadera canina. Prevalencia en la raza Bulldog», Facultad de Veterinaria, Universidad Zaragoza, Zaragoza, España, 2018.
- [15] L. A. Fritzler, «Actualización en el diagnóstico y tratamiento precoz de la displasia de cadera», Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Argentina, 2022.
- [16] A. Restrepo Muñoz y V. A. Santa Devia, «Revisión: Displasia de cadera en caninos, factores, diagnóstico y tratamientos», Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad Ciencias de la Salud, Pereira, Colombia, 2018.
- [17] M. J. Tupiza Luna, «Investigación bibliográfica sobre la eficacia de la hidroterapia en embarazadas que presentan dolor lumbar», Facultad Ciencias de la Discapacidad, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2021.
- [18] L. González García, «Hidroterapia Veterinaria, la unión de la fisioterapia y el agua», *Clínica Veterinaria Rioseco*, 18 de febrero de 2021. <https://riosecoclinicaveterinaria.es/hidroterapia-veterinaria/> (accedido 21 de agosto de 2022).
- [19] M. Gonzalo, «La hidroterapia en el CRAR», *Centro de Rehabilitación Animal de Referencia (CRAR)*, 2019. <https://crarbcn.com/es/la-hidroterapia-en-el-crar/> (accedido 21 de agosto de 2022).

- [20] S. Lindley y P. Watson, *Manual de rehabilitación y cuidados paliativos en pequeños animales*, 1.<sup>a</sup> ed., vol. 1. Barcelona, España: Colección BSV, 2015.
- [21] T. Schmidt y Y. Müller, *Underwater Treadmill Therapy for Dogs: A Theory and Practice Book*, Tredition., vol. 1. Hamburgo, Alemania, 2019.
- [22] I. Escalona Moreno, *Transductores y sensores en la automatización industrial*. El Cid Editor, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/34463>
- [23] L. G. Corona Ramírez y G. S. Abarca Jiménez, *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino (2a. ed.)*. Grupo Editorial Patria, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/121284>
- [24] J. C. Vásquez Cortes, *Automatización electro neumática*. Ediciones de la U, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/70283>
- [25] J. C. Avila Atanacio, «Diseño de un sistema de control electrónico para la realización de movimiento en una mesa de operaciones electrohidráulica», Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú, 2021.
- [26] M. Viejo Zubicaray y F. J. Álvarez, *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*, 3.<sup>a</sup> ed., vol. 1. México D.F.: Editorial Limusa, 2005.
- [27] C. G. Tenesaca Asadobay y H. J. Pilco Cajo, «Diseño y construcción de un sistema de control de temperatura y caudal para un sistema de bombeo de agua», Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2019.
- [28] J. H. Roldan Rojas, *Termodinámica*. Grupo Editorial Patria, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/39468>
- [29] Fundación BUN-CA, *Manual Técnico: Motores eléctricos*, 1.<sup>a</sup> ed., vol. 1. San José, Costa Rica, 2009.
- [30] S. Salas Arriaran, *Todo sobre sistemas embebidos: arquitectura, programación y diseño de aplicaciones prácticas con el PIC18F*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2015. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/41261>
- [31] E. Sesé Vega, «Estudio de las vulnerabilidades de la tecnología Bluetooth», Universitat Oberta de Catalunya, 2020. Accedido: 25 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10609/106368>

- [32] G. Cid Espinosa, «Programación de interfaz gráfica en App Designer para el control vectorial de motores de imanes permanentes», *Automática, Ingeniería Eléctrica y Electrónica e Informática Industrial*, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2018.
- [33] N. Mohan, *Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño (3a. ed.)*. McGraw-Hill España, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/36572>
- [34] E. Vega-Arroyo y L. Gallardo-López, «Desarrollo de una aplicación web para la recomendación de alimentos a pacientes con diabetes», *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, vol. 9, n.º 52, pp. 1-16, oct. 2021.
- [35] M. Vargas Cáceres, «Consideraciones sobre el equivalente metabólico (MET)», *DOCPLAYER*, 2017. <https://docplayer.es/37618525-Para-convertir-1-met-en-kcal-min-aplica-la-siguiente-ecuacion-ejemplo-si-pesas-60-kg-y-trotas-a-8-km-h-ver-tabla-para-ubicar-los-met.html> (accedido 22 de julio de 2023).
- [36] E. Sierra Rodríguez, «¿Te mueves lo suficiente? Conoce si realmente eres una persona activa», *Deporte Mayores*, 19 de julio de 2018. <https://deportemayores.com/blog/realmente-eres-una-persona-activa/> (accedido 22 de julio de 2023).
- [37] L. García Estrada, *Técnicas de investigación de campo y documental: basado en competencias*. Grupo Editorial Éxodo, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/153622>
- [38] F. Hernández, *Investigación documental y comunicación científica*. Universidad Abierta para Adultos (UAPA), 2001. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/175600>
- [39] N. E. Nieto, «Tipos de investigación», *Universidad Santo Domingo de Guzmán*, pp. 1-4, 2018.
- [40] A. Álvarez-Risco, «Clasificación de las investigaciones», *Universidad de Lima*, Lima, pp. 1-5, 2020.
- [41] L.-J. Gamble, «Physical Rehabilitation for Small Animals», *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*, vol. 52, n.º 4, pp. 997-1019, jul. 2022, doi: 10.1016/j.cvsm.2022.03.005.

- [42] AV Electronics, «Termocupla Tipo K + Módulo MAX6675», *AV Electronics*. <https://avelectronics.cc/producto/termocupla-tipo-k-modulo-max6675/> (accedido 28 de junio de 2023).
- [43] Electronilab, «Arduino Uno - R3 Compatible», *Electronilab*. <https://electronilab.co/tienda/arduino-uno-r3/> (accedido 22 de junio de 2023).
- [44] Ferretrónica, «Modulo Bluetooth HC-06 (Esclavo)», *Ferretrónica*. <https://ferretronica.com/products/modulo-bluetooth-hc-06-esclavo> (accedido 28 de junio de 2023).
- [45] Novatronic, «LCD 2004 con I2C Backlight azul», *Novatronic*. <https://novatronicec.com/index.php/product/lcd2004-con-i2c-backlight-azul/> (accedido 28 de junio de 2023).
- [46] Promesa, «Motor Trifásico 1800 RPM “WEG” 2 HP», *Promesa*. <https://www.promesa.com.ec/producto/motor-trifasico-1800-rpm-weg-2-hp> (accedido 22 de junio de 2023).
- [47] WEG, «Reductores e Motorreductores», *WEG*. [https://www.weg.net/catalog/weg/GB/es/Reductores-e-Motorreductores/c/GLOBAL\\_GEARBOXES](https://www.weg.net/catalog/weg/GB/es/Reductores-e-Motorreductores/c/GLOBAL_GEARBOXES) (accedido 22 de junio de 2023).
- [48] HNC Electric, «HV10 Series Mini Design Frequency Inverter», *HNC Electric Ltd*. [http://www.hncelectric.com/en\\_product\\_show.aspx?id=787](http://www.hncelectric.com/en_product_show.aspx?id=787) (accedido 22 de junio de 2023).
- [49] R. Ordoñez Flores, R. Morales Caporal, y A. Hernández Salinas, «Aplicaciones del Calentamiento por Inducción en Baja Potencia: Uso Doméstico, Agrícola y para Laboratorio», *Academia Journals*, vol. 21, n.º 6, pp. 782-793, mar. 2016.
- [50] Kitton Home Center, «BOMBA\*PISCINA 330GAL(58511) BESTWAY(796772)», *Kitton Home Center*. <https://www.kittonhomecenter.com/producto/bomba-de-filtrado-para-piscina-330-galones-58511-bestway/> (accedido 25 de junio de 2023).
- [51] AV Electronics, «Módulo Relé 8 Canales», *AV Electronics*. <https://avelectronics.cc/producto/modulo-rele-8-canales/> (accedido 25 de junio de 2023).

- [52] Electronilab, «Sensor Horizontal de Nivel de Agua Plástico - Flotador Interruptor», *Electronilab*. <https://electronilab.co/tienda/sensor-horizontal-de-nivel-de-agua-plastico-flotador-interruptor/> (accedido 22 de junio de 2023).
- [53] Prometec, «¿Cuánto consume Arduino?», *Prometec*. <https://www.prometec.net/consumos-arduino/> (accedido 28 de junio de 2023).
- [54] Candy-HO Electronics, «Modulo Relay Rele De 8 Canales 5v Candy-ho Blister Y Manual», *Candy-HO Electronics*. <https://candy-ho.com/producto/modulo-relay-rele-de-8-canales-candy-ho-blister-y-manual/> (accedido 28 de junio de 2023).
- [55] Ministerio de Energía y Minas, «Las tarifas de energía eléctrica no se incrementarán en el 2022», *Ministerio de Energía y Minas*, 10 de mayo de 2022. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/> (accedido 29 de junio de 2023).
- [56] Epmaps, «Empresa de Agua de Quito busca optimizar el consumo del líquido», *El Telégrafo*, 12 de febrero de 2022. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/actualidad/44/empresa-agua-quito-busca-optimizar-consumo-liquido> (accedido 29 de junio de 2023).

# ANEXOS

## Anexo 1. Catálogo caminadora “AquaPaws”

### AQUAPAWS+ UNDERWATER TREADMILL SYSTEM FOR CANINES AND SMALL ANIMALS



Low-Impact,  
High-Resistance

The AquaPawsPlus underwater treadmill system is designed using the natural properties of water (buoyancy, resistance, and heat). The AquaPawsPlus is a tool that can improve lives of animals who require rehabilitation, suffer from obesity or have arthritis.

#### UNLOCK THE POWER OF AQUATICS

##### QUICK FACTS

Overall Length	98" (248.9 cm)
Overall Width	44" (111.8 cm)
Overall Height	44.5" (113 cm)
Treadmill Speed	0.3-9 mph (0.5-14.5 kph)
UL Approved Electricals	

##### EXERCISE CHAMBER

Inside Length	77.5" (196.9 cm)
Inside Width	32" (81.3 cm)
Inside Height	34" (86.4 cm)
Water Depth	0-27" (0-68.6 cm)
Fill / Drain Time	Approximately 3-4 Minutes
Running Surface Length	63.5" (161.3 cm)
Running Surface Width	21.5" (54.6 cm)
Door Opening	26.5" (67.3 cm)
Weight	Empty: 1100 lbs (499 kg) Full: 2915 lbs (1322 kg)

##### WATER STORAGE TANK

Length	66" (167.6 cm)
Width	29" (73.7 cm)
Height	69" (175.3 cm)
Weight	Empty: 200 lbs (91 kg) Full: 3534 lbs (1603 kg)

##### ELECTRICAL

208-240 VAC | 1 Phase | 60 Hz | 50 Amp Service

##### EASY-TO-USE FEATURES

- 8.5" Touchscreen Control Panel
- 500 Programmable Treatments
- Auto Clean System & Energy Saving Mode
- Treadmill Operates Forward and Backward
- Optional Resistance Jets



The American-made AquaPawsPlus create a low-impact treadmill workout to help athletic and show dogs increase muscle strength, tone and endurance without the damaging effects of land-based exercise.

The AquaPawsPlus system employs a newly designed touch-screen panel that is full of innovative features. You can program up to 500 treatments. The AquaPaws plus also includes an energy saving mode as well as an auto-clean system, where the unit cleans itself under the treadmill belt.

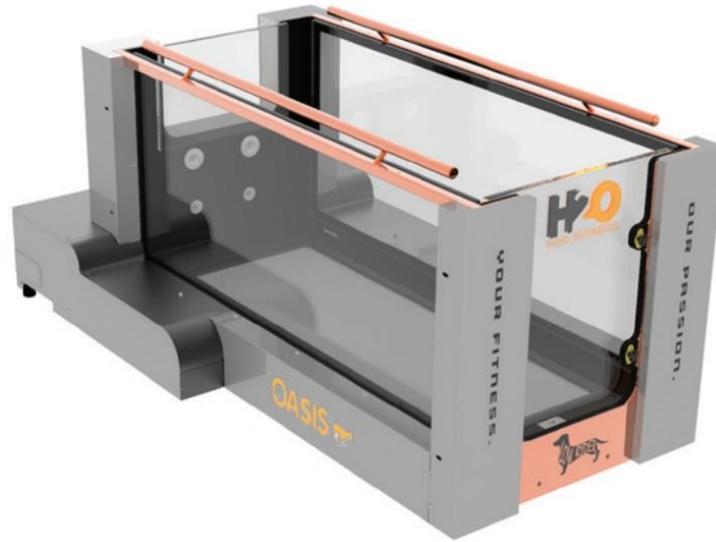
- FINANCING AVAILABLE
- RETIROLLATION AND 1 YEAR WARRANTY INCLUDED
- ON-SITE SERVICE TRAINING INCLUDED
- 24/7 SERVICE SUPPORT
- ASK SAM WATER QUALITY ASSISTANCE
- SERVICE PLANS AVAILABLE



1100 Webster Falls Avenue, IN • 888-205-7803



*Anexo 2. Catálogo caminadora “Oasis system”*



**FEATURES**

- Walk-through design
- 360-degree viewing
- Light-weight, stowable ramps
- Magnetic door latches
- Requires 40% less floor space compared to full-sized model
- Priced around 40% less than our full-sized models
- Plug and play – no special installation required
- Comes with 3-year warranty
- Speed from 0.5 mph to 5 mph in 0.1 mph increments

**PRODUCT SPECIFICATIONS**

- **ELECTRICAL REQUIREMENTS:** 220V AC, 60 Hz, 50 Amps, single phase
- **TREADMILL CHAMBER CAPACITY:** Holds 380 gallons; Weighs approximately 3,400 lb. when filled to capacity
- **TREADMILL CHAMBER SPECIFICATIONS (INSIDE):** Length: 78" Width: 32" Height: 32" from treadmill belt Belt surface area for exercising: 65" long by 20" wide
- **STORAGE TANK INFORMATION:** Length: 66" Width: 29" Height: 65 Holds 400 gallons of water
- **PLUMBING REQUIREMENTS:** Cold water inlet and a floor drain no less than 2"
- **DRIVE MOTOR:** 2 HP variable speed, AC

## HP Series Specifications...

### Services

Power supply:  
(Europe) 220-240VAC 13Amp 50Hz single phase  
(USA) 220VAC 20Amp 60Hz single phase

Water requirements: Cold water feed and drainage point

### Performance

Maximum water depth 600mm 24"

Speed Range: 0-5mph

### Sizes

Operator panel dimensions:  
L 400 x W 300 x H 120mm  
L 16" x W 12" x H 5"

Treadmill:  
HP200  
L1800 x W 730 x H 1260mm  
L 71" x W 29" x H 50"  
1000lbs 330kg 264US gals 727lb  
Length inc Ramps: 2700mm 106"

HP300  
L2100 x W 730 x H 1260mm  
L 83" x W 29" x H 50"  
1160lbs 380kg 306US gals 838lb  
Length inc Ramps: 3000mm 118"

HP 200 Plant Pack Dimensions:  
L 860 x W 700 x H 1745 mm  
L 34" x W 28" x H 69"

Storage Tank Dimensions:  
L 1905 x W 720 x H 1400mm  
L 75" x W 29" x H 55"



#### *Anexo 4. Guion de entrevista*

##### **Guion de entrevista**

##### **Tiempo estimado de la entrevista:**

90 minutos

##### **Criterios para comprobar antes de la entrevista:**

El entrevistado es especialista en fisiatría canina, quien en su trabajo desempeña mucho cuidados y métodos fisiátricos, ya que la mayoría de los pacientes necesitan terapias guiadas para su proceso de rehabilitación.

En este caso usaremos su experiencia para sacar los diferentes requerimientos de parte del especialista, para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Antes de la entrevista, se le pedirá al entrevistado que confirme oralmente su consentimiento en la grabación de la entrevista.

Para la entrevista usaremos la técnica del embudo, empezando con preguntas generales y siguiéndolas con preguntas cada vez más concretas.

##### **Descripción del proyecto:**

El proyecto consiste en el desarrollo de una caminadora subacuática para hidroterapia en canes de razas grandes.

##### **ENTREVISTA**

- ¿Qué es y cómo se procede a medir el nivel de estrés de un can?
- ¿Cuáles son los signos de estrés en canes, más comunes?
- ¿Cuáles son las enfermedades más comunes que afectan a la movilidad y marcha canina?
- ¿Qué alternativas hay, para tratar afecciones de la movilidad y marcha canina?
- ¿Cuáles son los principales procedimientos fisiátricos veterinarios?
- ¿Cuál es la función principal de un sistema de rehabilitación con hidroterapia?
- Dentro de la medicina veterinaria, ¿cuáles son los beneficios de la hidroterapia?
- ¿Qué modos de hidroterapia hay, y cuáles son sus diferencias más significativas?
- ¿Cuáles son los métodos para evaluar la progresión del paciente con esta terapia?

- ¿Cuáles son las técnicas que generalmente se usan en la hidroterapia canina?
- ¿Qué tipos de pacientes pueden usar la hidroterapia?
- ¿Conoce el funcionamiento de sistemas de rehabilitación de hidroterapia canina con caminadora subacuática? (explicación breve)
- ¿Conoce cuál es el rango de velocidad óptimo en una caminadora para fisioterapia canina?
- ¿Cuáles son los beneficios de la temperatura del agua, de acuerdo con la necesidad fisiológica?
- ¿Cómo influye el nivel de agua en las articulaciones del paciente en cada sesión de hidroterapia?
- ¿Cuáles son los rangos de trabajo en función del tiempo, en cada sesión de hidroterapia?
- ¿Cuáles son los factores de riesgo a considerar en cada sesión, por parte del paciente?
- ¿Cuáles son los factores de riesgo a considerar en cada sesión, por parte del especialista?
- ¿Conoce usted la clasificación de perros según su peso?
- ¿En Ecuador cuales son las razas predominantes?
- ¿Ha manejado algún equipo de hidroterapia anteriormente? (Describa las características)
- ¿Qué características cree usted que son necesarias en estos sistemas?
- ¿En pacientes críticos, cuál sería la mejor opción de ingreso al sistema? (Rampas, puertas abatibles)
- ¿Considera usted necesaria la asistencia interna del especialista o externa en este sistema de hidroterapia?
- ¿Cuál es la factibilidad que considera usted que existe en el país para implementar un sistema como este?
- ¿Qué recomendaciones adicionales o criterios tiene para la investigación y desarrollo de este sistema de rehabilitación?

#### **PUNTOS DE INTERÉS CRÍTICOS:**

- Requerimientos estructurales (Dimensiones, transportable, mantenimiento)

- Modo de ingreso del paciente. (Si requiere ingreso del especialista)
- Tiempo de sesión.
- Tiempo y modo de funcionamiento de llenado y vaciado del líquido.
- Condiciones para cuidar o proteger al paciente.
- Condiciones para evitar el estrés del paciente durante la sesión. (Ruido y vibraciones)
- Condiciones para el uso del especialista.
- Ubicación de los mandos y pantalla. (Botonera o táctil)
- Visibilidad de condiciones. (Velocidad, temperatura)
- Recomendaciones adicionales.

### **ENTREVISTA CORTA**

- ¿Cuáles son las enfermedades más comunes que afectan a la movilidad y marcha canina?
- ¿Qué alternativas hay, para tratar afecciones de la movilidad y marcha canina?
- ¿Ha manejado algún equipo de hidroterapia anteriormente? (Describa las características)
- ¿Qué características cree usted que son necesarias en estos sistemas?
- ¿En pacientes críticos, cuál sería la mejor opción de ingreso al sistema? (Rampas, puertas abatibles)
- ¿Considera usted necesaria la asistencia interna del especialista o externa en este sistema de hidroterapia?
- ¿Cuáles son los factores de riesgo a considerar en cada sesión, por parte del paciente?
- ¿Cuáles son los factores de riesgo a considerar en cada sesión, por parte del especialista?
- ¿Cuál es la factibilidad que considera usted que existe en el país para implementar un sistema como este?
- ¿Qué recomendaciones adicionales o criterios tiene para la investigación y desarrollo de este sistema de rehabilitación?

Anexo 5. Autorización de entrevista Clínica Save

**CARTA DE CONSENTIMIENTO PARA SER FOTOGRAFIADO O GRABADO EN VIDEO Y/O AUDIO**

En atención a las leyes de protección de datos, se tiene la obligación de recolectar su consentimiento de forma expresa, por lo que, para participar de manera consciente, queda *informada o informado* que:

Los datos de carácter personal que facilite serán resguardados por la coordinación del proyecto "*Caminadora subacuática para hidroterapia en canes de razas grandes*". Sus datos se obtienen para participar en este proyecto, cuya finalidad es determinar características y requerimientos para el diseño y construcción de este sistema fisiátrico veterinario.

Asimismo, consiente en la cesión gratuita a favor de este proyecto los derechos de imagen y voz, explotación del video remitido y, en particular, de los derechos de reproducción, distribución, comunicación pública (incluida la difusión y transformación a través de Internet), para su difusión en todos los medios y soportes que este proyecto estime oportunos. Bajo ningún concepto se comercializarán, y en todo caso se distribuirán de manera gratuita y con objetivos divulgativos de las acciones del proyecto.

Esta cesión permitirá exhibir, en su caso, el material proporcionado (fotografía, audio y/o vídeo) y siempre en el contexto de este proyecto. Asimismo, el abajo firmante garantiza que es el titular legítimo de todos los derechos de imagen y que ha obtenido todos los derechos en su caso sobre aquellos contenidos e imágenes con titularidad de terceros.

También he de informarle que puede ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición en relación con el tratamiento de sus datos mediante comunicación escrita enviando un mensaje de correo electrónico al destinatario [vxcaspir@utn.edu.ec](mailto:vxcaspir@utn.edu.ec) o [esyamberalai@utn.edu.ec](mailto:esyamberalai@utn.edu.ec). El hecho de remitir el vídeo implica el reconocimiento que la información y los datos personales que indica son suyos, exactos y ciertos.

Al firmar este formulario de consentimiento, yo J. Caspi Rios autorizo a **Yandry Xavier Caspi Rios y Erick Santiago Yamberla Inzuasti** a usar fotografías / vídeos / grabaciones sin previo aviso y sin aprobación expresa. He leído este formulario de consentimiento con atención y comprendo plenamente su significado e implicaciones.

  
Firma

25-03-22  
Fecha

Anexo 6. Autorización de entrevista Clínica Dogs&Cats

**CARTA DE CONSENTIMIENTO PARA SER FOTOGRAFIADO O GRABADO EN VIDEO Y/O AUDIO**

En atención a las leyes de protección de datos, se tiene la obligación de recolectar su consentimiento de forma expresa, por lo que, para participar de manera consciente, queda *informada o informado* que:

Los datos de carácter personal que facilite serán resguardados por la coordinación del proyecto "***Caminadora subacuática para hidroterapia en canes de razas grandes***". Sus datos se obtienen para participar en este proyecto, cuya finalidad es determinar características y requerimientos para el diseño y construcción de este sistema fisiátrico veterinario.

Asimismo, consiente en la cesión gratuita a favor de este proyecto los derechos de imagen y voz, explotación del vídeo remitido y, en particular, de los derechos de reproducción, distribución, comunicación pública (incluida la difusión y transformación a través de Internet), para su difusión en todos los medios y soportes que este proyecto estime oportunos. Bajo ningún concepto se comercializarán, y en todo caso se distribuirán de manera gratuita y con objetivos divulgativos de las acciones del proyecto.

Esta cesión permitirá exhibir, en su caso, el material proporcionado (fotografía, audio y/o vídeo) y siempre en el contexto de este proyecto. Asimismo, el abajo firmante garantiza que es el titular legítimo de todos los derechos de imagen y que ha obtenido todos los derechos en su caso sobre aquellos contenidos e imágenes con titularidad de terceros.

También he de informarle que puede ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición en relación con el tratamiento de sus datos mediante comunicación escrita enviando un mensaje de correo electrónico al destinatario [yxcaspir@utn.edu.ec](mailto:yxcaspir@utn.edu.ec) o [esyamberlai@utn.edu.ec](mailto:esyamberlai@utn.edu.ec). El hecho de remitir el vídeo implica el reconocimiento que la información y los datos personales que indica son suyos, exactos y ciertos.

Al firmar este formulario de consentimiento, yo Mónica Howerath Chirigosa García autorizo a **Yandry Xavier Caspi Rios y Erick Santiago Yamberla Inzuasti** a usar fotografías / vídeos / grabaciones sin previo aviso y sin aprobación expresa. He leído este formulario de consentimiento con atención y comprendo plenamente su significado e implicaciones.

  
Firma

26/09/2022  
Fecha

## Anexo 7. Programación en Arduino

```
#include <max6675.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define SCK_PIN_R    13 //termocupla del resevorio
#define CS_PIN_R    12
#define SO_PIN_R    11
MAX6675 thermocouple1(SCK_PIN_R, CS_PIN_R, SO_PIN_R);
#define SCK_PIN_C    10 //termocupla de la cabina
#define CS_PIN_C    9
#define SO_PIN_C    8
MAX6675 thermocouple2(SCK_PIN_C, CS_PIN_C, SO_PIN_C);
#define intervalo_1s 1000 //tiempo de 1 segundo
unsigned long tiempo_conteo = 0; //variable almacenamiento de tiempo

#define r1 2 //resistencia
#define e1 4 //electrovalvula 1: llenar la cabina
#define m1 3 //Bomba recirculadora
#define e2 5 //electrovalvula 2: vaciar la cabina
#define freq_AI 6 //PWM a VFD

int dato_agua=0; //variable para almacenar dato sensores de nivel
int i=1; //señal cuando el tanque se llena
int j=0; //señal cuando se alcanza la temperatura ideal
int res=0; //estado resistencia
char opcion;
unsigned int minutos = 0 ;
unsigned int segundos = 0 ;
int condNivel = 0;
String nivelDefinitivo;
float temperaturaReservorio;
float temperaturaCabina;
String velocidadSeleccionada;
String minutostxt;
String segundostxt;
String tiempotxt;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // set the LCD address to 0x27 for a 20 chars and 4 line
display
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600); //iniciamos la comunicación serial
  pinMode(e1,OUTPUT); //se definen los actuadores como salidas
  pinMode(e2,OUTPUT);
  pinMode(m1,OUTPUT);
  pinMode(r1,OUTPUT);
  digitalWrite(e1,HIGH); //salidas inician desactivadas
  digitalWrite(e2,HIGH);
  digitalWrite(m1,HIGH);
  digitalWrite(r1,HIGH);
  analogWrite(freq_AI, 0); //PWM inicia en 0

  lcd.init(); //iniciación de LCD
  lcd.backlight(); //luz de fondo activada
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("Caminadora");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("subacuatica");
  lcd.setCursor(1,2);
  lcd.print("Visualizacion");
  lcd.setCursor(1,3);
  lcd.print("de informacion");
}

void loop() {
  if (Serial.available()) {
    opcion = char(Serial.read());
    //Serial.println(opcion);
    temperatura_reservorio();
    nivel_agua();
    inicio_sesion();
    funciones_extra();
    fin_sesion();
  }
}

void nivel_agua() {
  if (condNivel == 0) {
    if (opcion == 'B' || opcion == 'M' || opcion == 'A') {
      digitalWrite(r1,HIGH);
    }
  }
}

```

```

if (opcion == 'B') {
  digitalWrite(e1, LOW);
  Serial.print("Cero");
  Serial.print(",");
  Serial.print("\n");
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("Nivel de agua:");
  lcd.setCursor(1,2);
  lcd.print("Cero");
  delay(180000); //tiempo nivel bajo completo

```

```

  digitalWrite(e1, HIGH);
  Serial.print("Bajo");
  Serial.print(",");
  Serial.print("\n");
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("Nivel de agua:");
  lcd.setCursor(1,2);
  lcd.print("Bajo");
  nivelDefinitivo = "Bajo";
  condNivel = 1;
}

```

```

if (opcion == 'M') {
  digitalWrite(e1, LOW);
  Serial.print("Cero");
  Serial.print(",");
  Serial.print("\n");
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("Nivel de agua:");
  lcd.setCursor(1,2);
  lcd.print("Cero");
  delay(180000); //tiempo nivel bajo

```

```

  digitalWrite(e1, LOW);
  Serial.print("Bajo");
  Serial.print(",");
  Serial.print("\n");

```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Nivel de agua:");
lcd.setCursor(1,2);
lcd.print("Bajo");
delay(120000); //tiempo nivel medio

digitalWrite(e1, HIGH);
Serial.print("Medio");
Serial.print(",");
Serial.print("\n");
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Nivel de agua:");
lcd.setCursor(1,2);
lcd.print("Medio");
nivelDefinitivo = "Medio";
condNivel = 1;
}

if (opcion == 'A') {
digitalWrite(e1, LOW);
Serial.print("Cero");
Serial.print(",");
Serial.print("\n");
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Nivel de agua:");
lcd.setCursor(1,2);
lcd.print("Cero");
delay(180000); //tiempo nivel bajo

digitalWrite(e1, LOW);
Serial.print("Bajo");
Serial.print(",");
Serial.print("\n");
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Nivel de agua:");
lcd.setCursor(1,2);
lcd.print("Bajo");

```

```

delay(120000); //tiempo nivel medio

digitalWrite(e1, LOW);
Serial.print("Medio");
Serial.print(",");
Serial.print("\n");
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Nivel de agua:");
lcd.setCursor(1,2);
lcd.print("Medio");
delay(120000); //tiempo nivel alto

digitalWrite(e1, HIGH);
Serial.print("Alto");
Serial.print(",");
Serial.print("\n");
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Nivel de agua:");
lcd.setCursor(1,2);
lcd.print("Alto");
nivelDefinitivo = "Alto";
condNivel = 1;
}
}
}
}

void temperatura_reservorio() {
  if (i==1) { // se activa solo cuando tanque esta lleno
    if (opcion == 'O' || opcion == 'N' || opcion == 'T' || opcion == 'U' || opcion == 'D') {
      if(millis() > tiempo_conteo + intervalo_1s) {
        tiempo_conteo = millis();
        //Imprimir la temperatura en el puerto serial y LCD
        temperaturaReservorio = (thermocouple1.readCelsius());
        Serial.print(temperaturaReservorio);
        Serial.print("°C");
        Serial.print(",");
        Serial.print("\n");
        lcd.clear();

```

```

lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Reservorio:");
lcd.setCursor(1,2);
lcd.print(temperaturaReservorio);
lcd.print("°C");
}
}
if (res==0) {
    digitalWrite(r1,LOW);
}
if (opcion == 'O') {
    if(temperaturaReservorio>=28) {
        digitalWrite(r1,HIGH);
        res=1;
        j=0;
    }
    if(temperaturaReservorio<28 && res==1) {
        digitalWrite(r1,LOW);
        j=1;
    }
    if(temperaturaReservorio>28 && res==0) {
        digitalWrite(r1,HIGH);
        j=1;
    }
}
if (opcion == 'N') {
    if(temperaturaReservorio>=29) {
        digitalWrite(r1,HIGH);
        res=1;
        j=0;
    }
    if(temperaturaReservorio<29 && res==1) {
        digitalWrite(r1,LOW);
        j=1;
    }
    if(temperaturaReservorio>29 && res==0) {
        digitalWrite(r1,HIGH);
        j=1;
    }
}
if (opcion == 'T') {

```

```

if(temperaturaReservorio>=30) {
    digitalWrite(r1,HIGH);
    res=1;
    j=0;
}
if(temperaturaReservorio<30 && res==1) {
    digitalWrite(r1,LOW);
    j=1;
}
if(temperaturaReservorio>30 && res==0) {
    digitalWrite(r1,HIGH);
    j=1;
}
}
if (opcion == 'U') {
    if(temperaturaReservorio>=31) {
        digitalWrite(r1,HIGH);
        res=1;
        j=0;
    }
    if(temperaturaReservorio<31 && res==1) {
        digitalWrite(r1,LOW);
        j=1;
    }
    if(temperaturaReservorio>31 && res==0) {
        digitalWrite(r1,HIGH);
        j=1;
    }
}
if (opcion == 'D') {
    if(temperaturaReservorio>=32) {
        digitalWrite(r1,HIGH);
        res=1;
        j=0;
    }
    if(temperaturaReservorio<32 && res==1) {
        digitalWrite(r1,LOW);
        j=1;
    }
    if(temperaturaReservorio>32 && res==0) {
        digitalWrite(r1,HIGH);

```

```

        j=1;
    }
}
}
}

void inicio_sesion() {
    if (opcion == 'V' || opcion == 'T' || opcion == 'L') {
        condNivel = 0;
        if (opcion == 'L') {
            analogWrite(freq_AI, 85); //PWM para velocidad baja
            velocidadSeleccionada = "Baja";
        } else if (opcion == 'T') {
            analogWrite(freq_AI, 170); //PWM para velocidad normal
            velocidadSeleccionada = "Normal";
        } else if (opcion == 'V') {
            analogWrite(freq_AI, 255); //PWM para velocidad alta
            velocidadSeleccionada = "Alta";
        }
        if(millis() > tiempo_conteo + intervalo_1s) {
            tiempo_conteo = millis();
            //Imprimir la temperatura en el puerto serial y variables en LCD
            temperaturaCabina = (thermocouple2.readCelsius());
            Serial.print(temperaturaCabina);
            Serial.print("°C");
            Serial.print(",");
            Serial.print("\n");
            segundos++;
            if(segundos == 60){
                segundos = 0;
                minutos++;
            }
            if(minutos < 10){
                minutostxt = "0" + String(minutos) + ":";
            } else {
                minutostxt = String(minutos) + ":";
            }
            if(segundos < 10){
                segundostxt = "0" + String(segundos);
            } else {
                segundostxt = String(segundos);
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    tiempotxt = minutostxt + segundostxt;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Temperatura: ");
    lcd.print(temperaturaCabina);
    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.print("Nivel de agua: ");
    lcd.print(nivelDefinitivo);
    lcd.setCursor(1,2);
    lcd.print("Velocidad: ");
    lcd.print(velocidadSeleccionada);
    lcd.setCursor(1,3);
    lcd.print("Tiempo: ");
    lcd.print(tiempotxt);
  }
}
}

```

```

void funciones_extra() {
  if(opcion == 'E') {
    digitalWrite(m1,LOW);
  }
  if(opcion == 'F') {
    digitalWrite(m1,HIGH);
  }
  if(opcion == 'R') {
    digitalWrite(e2,LOW);
  }
  if(opcion == 'S') {
    digitalWrite(e2,HIGH);
  }
}

```

```

void fin_sesion() {
  if(opcion == 'X') {
    analogWrite(freq_AI, 0);
  }
}

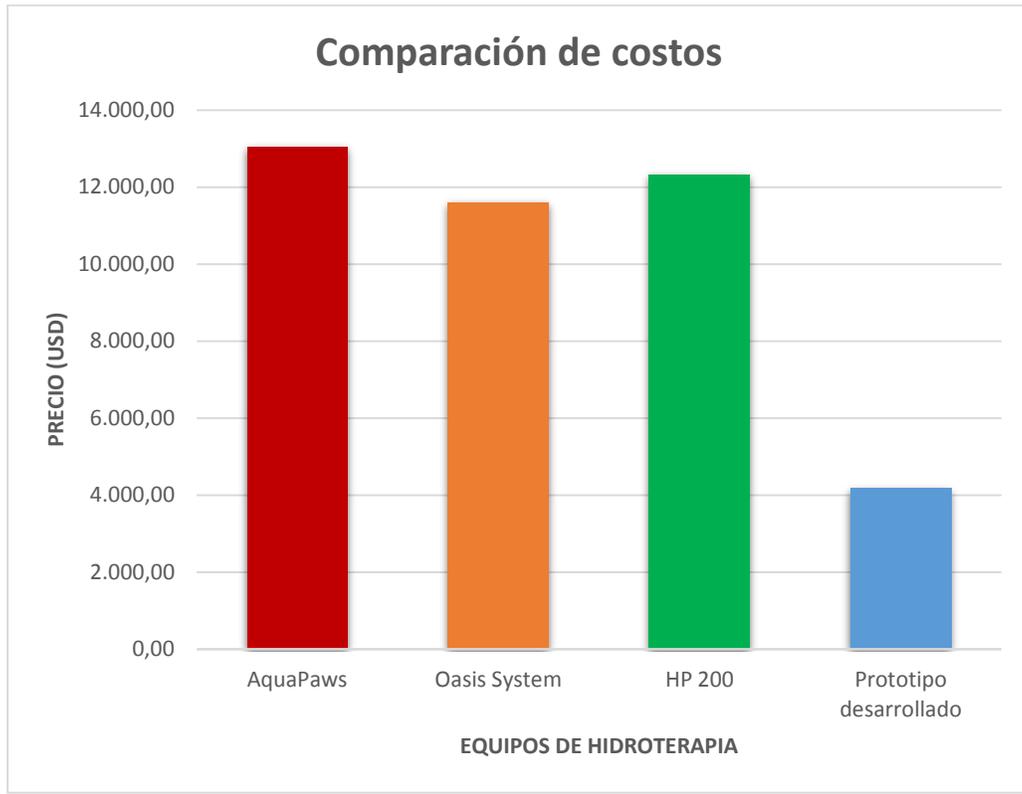
```

*Anexo 8. Costos totales.*

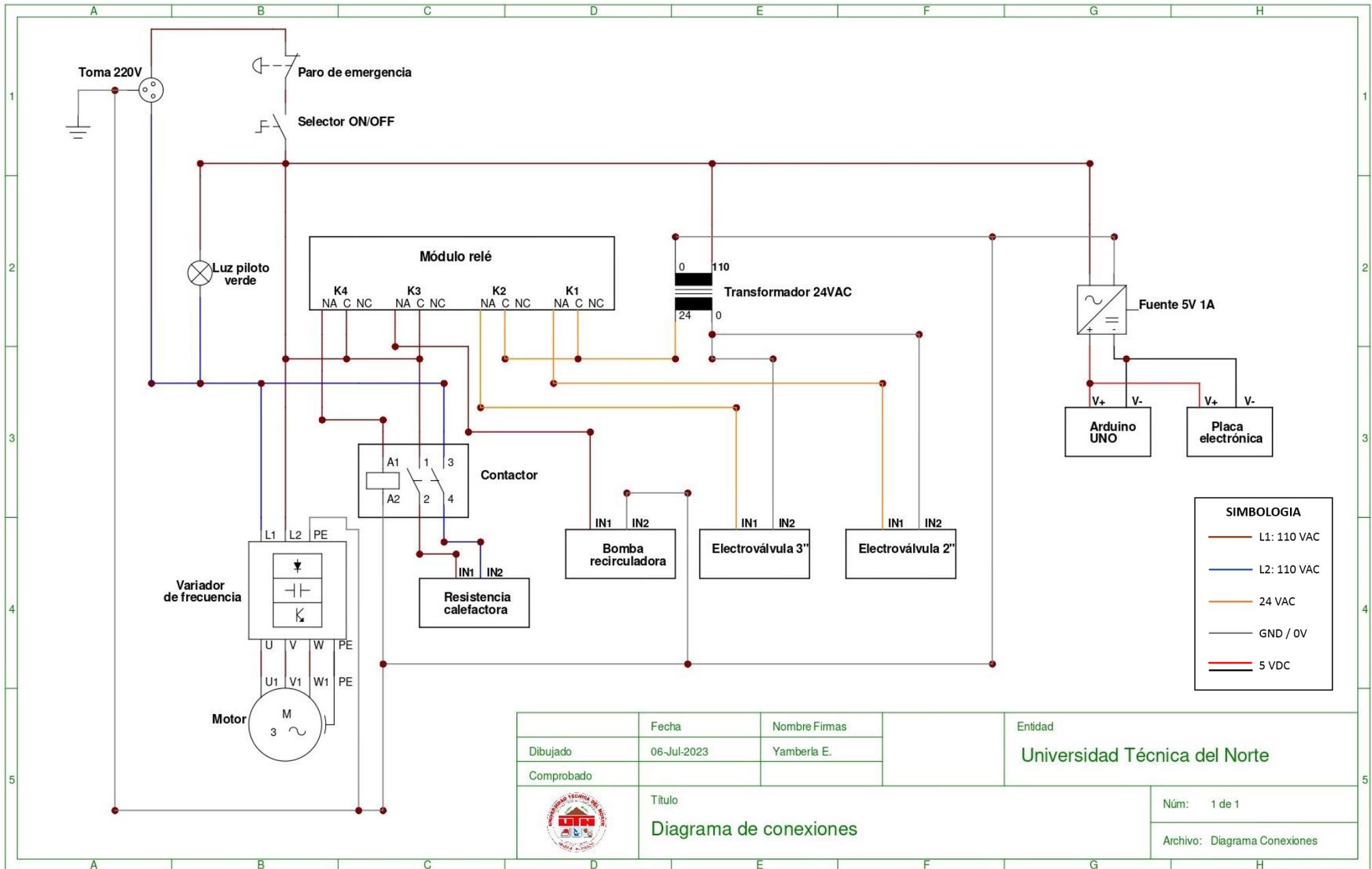
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor total (USD)</b>
1	Variador de frecuencia HV10	160,00
1	Resistencia calefactora industrial	150,00
1	Bomba recirculadora	80,00
1	Motor WEG trifásico 2 hp y reductor	490,00
1	Placa Arduino UNO R3	30,00
2	Termocupla tipo K	28,00
2	Electroválvulas 2" y 3"	216,00
1	Reservorio 500 L	95,00
1	Módulo Bluetooth	6,00
1	Pantalla LCD con I2C	16,00
3	Tableros eléctricos	75,00
2	Fuentes de voltaje, reguladores, transformadores	25,00
1	Fabricación de placa electrónica PCB	10,00
3	Selector ON/OFF, paro de emergencia, luz piloto	30,00
	Cables de potencia y protecciones	50,00
	Tubos plásticos, acoples y otros accesorios	25,00
	Resistencias, pulsadores, placa de prueba, cables, otros materiales	14,00

Se obtuvo un presupuesto de 1.500,00 USD para la implementación del sistema electrónico. Tomando en cuenta el presupuesto de la parte de construcción mecánica, el cual fue 2.677,50 USD; se estimó un costo final de 4.177,50 USD para el desarrollo del proyecto.

Anexo 9. Comparación de costos entre equipos comerciales y el prototipo desarrollado.



Anexo 10. Diagrama de conexiones general



SIMBOLOGIA	
	L1: 110 VAC
	L2: 110 VAC
	24 VAC
	GND / 0V
	5 VDC

	Fecha	Nombre Firmas	Entidad
Dibujado	06-Jul-2023	Yamberla E.	Universidad Técnica del Norte
Comprobado			
	Título		Núm: 1 de 1
	Diagrama de conexiones		Archivo: Diagrama Conexiones