



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 10 DE SEPTIEMBRE DE 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad NEIVA

El suscrito:

JUAN CAMILO GUALTEROS VIDAL, con C.C. No.1075312359,

Autor de la tesis titulado DESARROLLO DE UN ELECTROEYACULADOR CON INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS (IOT) PARA ANIMALES BOVINOS, OVINOS Y CAPRINOS presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de INGENIERO ELECTRÓNICO;

Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: JUAN CAMILO GUALTEROS VIDAL

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** DESARROLLO DE UN ELECTROEYACULADOR CON INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS (IOT) PARA ANIMALES BOVINOS, OVINOS Y CAPRINOS.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
GUALTEROS VIDAL	JUAN CAMILO

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MOLINA MOSQUERA	JOHAN JULIÁN

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MOSQUERA CERQUERA	VLADIMIR
ROBAYO BETANCOURT	FAIBER IGNACIO

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** INGENIERO ELECTRÓNICO

**FACULTAD:** INGENIERÍA

**PROGRAMA O POSGRADO:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**CIUDAD:** NEIVA

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2024

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 99

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una **X**):

Diagramas **X** Fotografías\_\_\_ Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general\_\_\_ Grabados\_\_\_ Láminas\_\_\_  
Litografías\_\_\_ Mapas\_\_\_ Música impresa\_\_\_ Planos **X** Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_ Tablas o Cuadros **X**

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

PDF ADOBE ACROBAT READER.

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser *LAUREADAS* o *Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. ELECTROEYACULADOR	ELECTROEJACULATOR	6. POTENCIA	POWER
2. REGULADOR	REGULATOR	7.PWM	PULSE WIDTH MODULATION
3. IOT	INTERNET OF THINGS	8.ELECTRODO	ELECTRODE
4. TRANSDUCTOR	TRANSDUCER	9.DATOS	DATA
5. CONEXIÓN BLUETOOTH	BLUETOOTH CONNECTION	10.APLICACIÓN NATIVA	NATIVE APP

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

El presente proyecto aborda la construcción de un electroeyaculador que incorpora tecnología IoT, diseñado para animales semovientes de las especies bovina, caprina y ovina. La electroeyaculación es una técnica de reproducción asistida esencial para la recolección de semen en rumiantes, especialmente útil en los mencionados. Para el desarrollo del prototipo, se utilizó el microcontrolador ESP32, que genera señales PWM y permite la adquisición de lecturas de los sensores DS18B20 y FlexiForce, facilitando la medición de la temperatura y la presión generada por la contracción anal, indicadores clave del bienestar animal. Los datos recopilados se transmitieron vía Bluetooth a una aplicación nativa para Android, y se almacenaron en la nube de Firebase para su posterior análisis. El hardware y software desarrollados garantizaron una comunicación Bluetooth eficiente y la correcta interpretación de los datos almacenados en remoto después de cada procedimiento con el electroeyaculador. Además, se configuró el software para generar estímulos en ciclos de 24%, 48%, 74% y 98% con una frecuencia de 100Hz, optimizando el proceso de recolección de semen. Todo esto se realizó priorizando el bienestar animal y



facilitando la accesibilidad para los productores con conocimientos limitados en la materia.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

This project involves the development of an electroejaculator incorporating IoT technology, designed for livestock species such as cattle, goats, and sheep. Electroejaculation is an assisted reproduction technique used to collect semen from animals, particularly beneficial for the mentioned ruminants. The prototype was developed using the ESP32 microcontroller to generate PWM signals and acquire readings from DS18B20 and Flex Force sensors, enabling the measurement of temperature and pressure generated by anal contractions, which are crucial indicators of the animals' welfare. The data collected were transmitted via Bluetooth to a native Android application and stored in Firebase for further analysis. The hardware and software designed ensured efficient Bluetooth communication and accurate interpretation of remote storage data after each procedure with the electroejaculator. Additionally, the software was configured to generate stimulation cycles at 24%, 48%, 74%, and 98% with a frequency of 100Hz, optimizing the semen collection process. This entire approach was designed to prioritize animal welfare and to be accessible to producers with limited technical knowledge.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado: JOHAN JULIÁN MOLINA MOSQUERA

Firma:

Nombre Jurado: VLADIMIR MOSQUERA CERQUERA

Firma:

Nombre Jurado: FAIBER IGNACIO ROBAYO BETANCOURT

Firma:

Vigilada Mineducación

DESARROLLO DE UN ELECTROEYACULADOR CON INCORPORACIÓN DE  
TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS (IoT) PARA ANIMALES BOVINOS, OVINOS  
Y CAPRINOS

Juan Camilo Gualteros Vidal

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA – HUILA  
2024

DESARROLLO DE UN ELECTROEYACULADOR CON INCORPORACIÓN DE  
TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS (IoT) PARA ANIMALES BOVINOS, OVINOS  
Y CAPRINOS

Juan Camilo Gualteros Vidal

Línea de la propuesta: Telecomunicaciones, IOT.

Director (a):  
Ing. Johan Julián Molina Mosquera

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA – HUILA  
2024

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Neiva, 10 de Septiembre de 2024

## **DEDICATORIA**

A Dios por facilitarme los medios para estudiar en la Universidad Surcolombiana de la ciudad de Neiva (Huila), a mi abuelita Cecilia, mi madre María Cristina, mis tíos Beatriz Eugenia y Luis Antonio, quienes me apoyaron incondicionalmente, para el alcance de mi meta profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero Johan Julián Molina Mosquera, Director de Tesis, quien me asesoró en este Proyecto.

A los profesores y compañeros del Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Surcolombiana de la ciudad de Neiva (Huila).

A mi abuelita Cecilia, mi madre María Cristina, mis tíos Beatriz Eugenia y Luis Antonio por los sabios consejos y apoyo incondicional durante la realización de mis estudios de Ingeniería Electrónica en la universidad Surcolombiana de la ciudad de Neiva (Huila).

## CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN .....	12
1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	13
1.1 ANTECEDENTES.....	13
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.5 METODOLOGÍA .....	15
1.5.1 CRONOGRAMA .....	16
1.5.2 RECURSOS .....	17
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	18
2. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN ELECTROEYACULADOR INCORPORANDO TECNOLOGÍA DE IoT PARA EL MONITOREO Y CONTROL EN TIEMPO REAL DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE SEMEN.....	19
2.1 NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL PROTOTIPO.....	19
2.2 COMPONENTES DEL PROTOTIPO .....	22
2.2.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	22
2.2.1.1 FUENTE DE 7.4 VDC .....	22
2.2.1.2 FUENTE REGULADA DE 5 VDC .....	25
2.2.1.3 FUENTE DE $\pm 15$ VDC .....	26
2.2.2 UNIDAD DE ADECUACIÓN DE SEÑAL .....	27
2.2.3 UNIDAD DE POTENCIA .....	38
2.3 PRUEBAS SOBRE EL CIRCUITO .....	42
2.4 UNIDAD DE CONTROL.....	44
2.5 SENSORES.....	48
2.5.1 SENSOR DIGITAL DE TEMPERATURA DS18B20 .....	48
2.5.2 ALIMENTACIÓN A TRAVÉS DEL PIN DE DATOS.....	48
2.5.3 ALIMENTACIÓN USANDO UNA FUENTE EXTERNA.....	49
2.5.4 SENSOR DE CONTRACCIÓN ANAL .....	51
2.5.5 SENSOR DEL ESTADO DE LA BATERÍA.....	53
3. HARDWARE Y SOFTWARE NECESARIO PARA EL ELECTROEYACULADOR, ASEGURANDO LA EFICACIA Y SEGURIDAD DEL DISPOSITIVO PARA SU USO EN ANIMALES BOVINOS, OVINOS Y CAPRINOS.....	54
3.1 DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL .....	54
3.1.1 BLOQUE DE SENSORES .....	55
3.1.1.1 TEMPERATURA .....	55
3.1.1.2 CONTRACCIÓN ANAL .....	55
3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSDUCTOR.....	56
4. SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS PARA EL MANEJO Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA POR EL DISPOSITIVO DURANTE SU USO.....	61
4.1 DISEÑO DE LA APP.....	62
5. CONCLUSIONES .....	66
BIBLIOGRAFÍA .....	68
ANEXOS .....	70

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Presupuesto del proyecto .....	17
Tabla 2. Señales eléctricas seguras para electroeyaculación en diferentes tipos de animales. .....	19
Tabla 3. Valores de voltaje para la operación del prototipo. ....	22
Tabla 4. Valores de voltaje para la operación con baterías .....	25
Tabla 5. Relación de voltaje y corriente del elevador.....	27
Tabla 6. Rendimiento típico del sensor Flexiforce .....	53
Tabla 7. Niveles de respuesta nerviosa .....	56
Tabla 8. Materiales para el soporte o mango del transductor .....	60

## LISTA DE FIGURAS

Pág

Figura 1. Cronograma del proyecto .....	16
Figura 2. Bloques funcionales del sistema.....	21
Figura 3. Diagrama funcional del sistema Electro eyaculador.....	21
Figura 4. Módulo de carga y suministro de 7.4 VDC.....	23
Figura 5. Carga de la batería.....	24
Figura 6. Baterías en estado de operación.....	26
Figura 7. Configuración básica del LM7805.....	26
Figura 8. Modulo Boost- Buck 20w Salida Dual Positiva Y Negativa $\pm 30v$ .....	26
Figura 9. Señal PWM. ....	28
Figura 10. Un periodo en una señal PWM.....	28
Figura 11. Voltajes de salida de acuerdo al ciclo de trabajo. ....	29
Figura 12. Señal de salida del ESP32, para PWM del 25%.....	32
Figura 13. Señal de salida PWM del ESP para un 50%.....	32
Figura 14. Señal de salida PWM del ESP 32 para el 98%.....	33
Figura 15. Circuito acondicionador de la señal PWM .....	34
Figura 16. Circuito acondicionado de señal. ....	35
Figura 17. Voltaje de salida máximo de la etapa de potencia del sistema. ....	35
Figura 18. Simulación de las etapas acondicionadora y de potencia - Potencia con una señal PWM del 25%.....	36
Figura 19. Simulación de la etapa de potencia - Potencia con una señal PWM del 25%. ....	36
Figura 20. Simulación de las etapas acondicionadora y de potencia - Potencia con una señal PWM del 75%.....	37
Figura 21. Simulación da la etapa de potencia - Potencia con una señal PWM del 75%. ....	37
Figura 22. Simulación de las etapas acondicionadora y de potencia.....	38
Figura 23. Amplificador de potencia. ....	39
Figura 24. Amplificador Clase B Complementario. ....	40
Figura 25. Transistores BD140 y BD139 .....	41
Figura 26. Amplificador Operacional LM324.....	42
Figura 27. Salida del Amp-Op LM358 U2-A.....	43
Figura 28. Salida del Amp-Op KM358 U2-B .....	43
Figura 29. Salidas del Amp-Op LM324.....	44
Figura 30. Diagrama de bloques funcionales del ESP32. ....	45
Figura 31. Distribución de los pines del ESP32.....	48
Figura 32. Alimentación del sensor de temperatura a través del pin de datos. ....	49
Figura 33. Alimentación del sensor de temperatura usando fuente externa.....	49
Figura 34. Librería OneWire. ....	49
Figura 35. Librería DallasTemperature .....	50
Figura 36. Sensor o resistencia de detección de fuerza .....	51
Figura 37. Circuito de monitoreo del estado de las baterías .....	53
Figura 38. Bloques del programa de control .....	54
Figura 39. Mango del transductor .....	56
Figura 40. Eliminación de la rosca de la tuerca cónica .....	57
Figura 41. Corte de tuerca cónica a la medida del conector .....	57
Figura 42. Conector macho y tuerca cónica para su ensamble .....	58
Figura 43. Terminación del mango del transductor.....	59

Figura 44. Adecuación del cuerpo de transductor.....	59
Figura 45. Ejemplo del acabado final del cuerpo del transductor.....	60
Figura 46. Ejemplo del Transductor final .....	60
Figura 47. Pruebas desde el ESP32 y la conexión Bluetooth para 25% .....	61
Figura 48. Pruebas desde el ESP32 y la conexión Bluetooth para 50% .....	61
Figura 49. Pruebas desde el ESP32 y la conexión Bluetooth para 75% .....	62
Figura 50. Pruebas desde el ESP32 y la conexión Bluetooth para 98% .....	62
Figura 51. Creacion Proyecto Firebase .....	63
Figura 52. Firebase para Android .....	63
Figura 53. Firma de Seguridad .....	64
Figura 54. Archivo de Configuraciones Firebase .....	64
Figura 55. Panel de Autenticación por Correo .....	65
Figura 56. Realtime Database .....	65

## LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Programación de la unidad de control ESP32 .....	70
Anexo 2. Plano general .....	77
Anexo 3. Construcción del PCB .....	77
Anexo 4. Cargador de baterías.....	79
Anexo 5. Simulaciones .....	80
Anexo 6. Pista Lado Componentes .....	81
Anexo 7. Pistas Lado Componentes y Lado Soldadura .....	82
Anexo 8. Serigrafía Lado Componentes y Lado Soldadura.....	83
Anexo 9. Layout 3D Cara Superior e Inferior .....	84
Anexo 10. Elevador Dual 3.5V-(12V-12 V) y Placa de Control.....	85
Anexo 11. Kit Completo BT-Eyaculador.....	86
Anexo 12. Señales Del Microcontrolador.....	88
Anexo 13. Señales De La Carga .....	90
Anexo 14. Rutas De Navegación App .....	93
Anexo 15. Programación Selección De Especie En El Aplicativo .....	95
Anexo 16. Programación Persistencia Remota .....	98

## RESUMEN

El presente proyecto comprende la construcción de un electroeyaculador, incorporando tecnología IoT para animales semovientes de especies Bovinos, Caprinos y Ovinos, teniendo en cuenta que la electroeyaculación, es una técnica de reproducción asistida utilizada para recolectar semen de animales, especialmente útil en el caso de los rumiantes mencionados.

Para la elaboración del prototipo, se incorporó el ESP32 para generar señales pwm y adquirir lecturas de los sensores DS18B20 y flexiforce, permitiendo la medición de temperatura, la presión generada por contracción anal de los animales, como indicadores importantes del estado anímico de los animales. Los datos obtenidos fueron transmitidos por vía bluetooth a una aplicación nativa (Android), facilitando la persistencia de los datos en la nube de Firebase.

El Hardware y Software requeridos para la elaboración del dispositivo, garantizaron la conexión bluetooth como tecnología de comunicación y la interpretación adecuada de los datos del storage remoto, después de cada procedimiento realizado con el electroeyaculador. Así mismo, con la configuración del Software para la generación de estímulos en ciclos 24%, 48%, 74% y 98% y una frecuencia de 100Hz, para optimizar el proceso de recolección de semen en animales objeto de estudio. Respecto a lo anterior, se priorizó el bienestar animal y la adsequibilidad para los productores con escasos conocimientos del tema.

## INTRODUCCIÓN

El Internet de las Cosas (IoT), está actualmente generando un impacto tan importante, que puede encontrarse en cualquier entorno de nuestro diario vivir. A nivel mundial. IoT se encarga de unificar sistemas inteligentes, con frameworks, dispositivos tecnológicos y sensores. Además, aprovecha la tecnología cuántica y la nanotecnología en términos de almacenamiento, velocidad de detección y procesamiento que antes no eran concebibles (Sachin Kumar, 2019). Se han realizado estudios de investigación y están disponibles en términos de artículos científicos, informes en los diferentes medios de comunicación, tanto en Internet como en forma de materiales impresos para ilustrar la efectividad potencial y aplicabilidad de las transformaciones del IoT. El cual podría utilizarse como trabajo de investigación, antes de realizar planes de negocios novedosos e innovadores, resaltar en el IoT, la generación de la seguridad, garantía e interoperabilidad.

IoT representa paradigma emergente que permite la comunicación entre dispositivos electrónicos y sensores a través de medios inalámbricos en pro de facilitar nuestras vidas. IoT utiliza Internet para proveer soluciones novedosas a varios retos y problemas relacionados con los negocios, gobiernos y empresas (Pagalla Bhavani Shankar, 2021).

La necesidad de equipos de electroeyaculación asequibles y accesibles para productores a pequeña y mediana escala fue destacada por Gómez (2013) en el contexto de la producción ovina en Ecuador. El estudio buscó integrar la evaluación del macho mediante la recolección de material espermático usando un equipo de electroeyaculación fabricado localmente. Así mismo, los electroeyaculadores comerciales son controlados manualmente aumentando el voltaje evitando exceder niveles de potencia elevados y lograr la eyaculación. Según lo señalado, se requiere de alguien capacitado para operar los dispositivos (John A. Gallo, 1997).

La incorporación de tecnología de Internet de las Cosas (IoT) en el diseño de electroeyaculadores, puede ofrecer oportunidades significativas para optimizar el proceso de recolección de semen. La IoT permitiría el monitoreo y ajuste en tiempo real de los parámetros de electroeyaculación, posiblemente mejorando la eficacia y reduciendo el estrés en los animales. Además, la IoT podría facilitar la recopilación y análisis de datos, lo que podría conducir a mejoras adicionales en el proceso de electroeyaculación. La recolección y análisis de datos en tiempo real durante el proceso mencionado, podría proporcionar información eficiente, reducir el estrés en los animales y la accesibilidad para los productores a pequeña y mediana escala.

# 1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO

## 1.1 ANTECEDENTES

La industria ganadera ha estado buscando continuamente maneras de mejorar la eficiencia de la producción y el bienestar de los animales. Un área que ha recibido atención significativa es la reproducción controlada, particularmente la recolección de semen en animales bovinos, ovinos y caprinos. La recolección de semen es una práctica común en estas industrias para permitir la mejora genética y la inseminación artificial.

La electroeyaculación, es una técnica de reproducción asistida que se utiliza para recolectar semen de animales, es especialmente útil en el caso de los rumiantes. Esta técnica se basa en la aplicación de estímulos eléctricos por medio de un transductor, lo que induce una erección y posterior eyaculación del animal. Este proceso permite aumentar la productividad, preservar los recursos genéticos y difundir material genético de alto valor comercial (Tovar y Polo, 2011). Sin embargo, existen preocupaciones relativas al bienestar animal, ya que este procedimiento puede ser doloroso y generar estrés (Palmer, 2005).

En términos de desarrollo tecnológico, varios estudios han centrado sus esfuerzos en la creación de equipos de electroeyaculación asequibles y eficientes. Gutiérrez y Quiroga (2016) desarrollaron un equipo electroeyaculador de bajo costo para la recolección de semen en carneros. De forma similar, Tovar y Polo (2011) diseñaron un prototipo electrónico para facilitar la aplicación de esta técnica, con un transductor apto para caprinos y ovinos.

La electroeyaculación ha encontrado aplicaciones diversas en varias especies. Por ejemplo, Choque-López et al. (2015) realizaron pruebas de recolección de semen mediante electroeyaculación en bovinos y caprinos, observando variabilidad en los volúmenes de eyaculado. En paralelo, Bopape et al. (2015) aplicaron esta técnica en cabras indígenas sudafricanas, obteniendo mayor volumen de semen en comparación con la vagina artificial.

La necesidad de equipos de electroeyaculación asequibles y accesibles para productores a pequeña y mediana escala fue destacada por Gómez (2013) en el contexto de la producción ovina en Ecuador. El estudio buscó integrar la evaluación del macho mediante la recolección de material espermático usando un equipo de electroeyaculación fabricado localmente.

Por último, Yamasaki et al. (2005) subrayaron la importancia de un diseño de electroeyaculador adecuado para pequeños rumiantes, sugiriendo el desarrollo de un electroeyaculador construido con material de uso común, permitiendo su construcción con un mínimo de conocimientos técnicos.

En los últimos años, ha habido un interés creciente en la aplicación de tecnologías emergentes para mejorar la eficiencia y el bienestar animal en la producción ganadera. Entre estas tecnologías, la Internet de las Cosas (IoT) ha demostrado un gran potencial. La IoT permite la recopilación y análisis de datos en tiempo real, lo que puede proporcionar información valiosa para optimizar los procesos de producción.

De los estudios consultados, no fue posible identificar la aplicación de la tecnología IoT en la producción animal. No se reconocieron desarrollos de sistemas de monitoreo para controlar la salud y el bienestar de los animales en tiempo real. Esto indica una falta de investigación sobre la aplicación de la tecnología IoT en la recolección de semen en animales.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, este estudio propone el desarrollo de un electroeyaculador con incorporación de tecnología IoT. La esperanza es que este dispositivo permita un mayor control y estandarización del proceso de recolección de semen, lo que puede mejorar la eficiencia y el bienestar animal.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La industria ganadera, en particular la de animales bovinos, ovinos y caprinos, depende en gran medida de la reproducción controlada para mantener y mejorar la calidad genética del rebaño. Un componente esencial de este proceso es la recolección eficiente y segura de semen, que a menudo se realiza utilizando técnicas de electroeyaculación. Sin embargo, este proceso puede ser estresante para los animales y puede variar en efectividad debido a una falta de estandarización y control.

La electroeyaculación es una técnica ampliamente utilizada para la recolección de semen en animales rumiantes. A pesar de sus ventajas en términos de eficacia y la obtención de material genético de alta calidad, existen desafíos significativos asociados con este procedimiento. En particular, la electroeyaculación puede ser estresante y potencialmente dolorosa para los animales (Palmer, 2005). Además, la variabilidad en los volúmenes de eyaculado puede limitar la eficacia de esta técnica (Choque-López et al., 2015). Estos desafíos subrayan la necesidad de mejorar y optimizar el proceso de electroeyaculación.

En paralelo, el acceso a equipos de electroeyaculación asequibles y eficientes es limitado, especialmente para productores de animales a pequeña y mediana escala (Gómez, 2013). Aunque se han desarrollado equipos de bajo costo (Gutiérrez y Quiroga, 2016), estos pueden no estar fácilmente disponibles o pueden no ser adecuados para todas las especies y situaciones. Además, los equipos existentes pueden no permitir un monitoreo y ajuste precisos de los parámetros de electroeyaculación, lo que podría mejorar la eficacia y reducir el estrés y el dolor en los animales.

En este contexto, la incorporación de tecnología de Internet de las Cosas (IoT) en el diseño de electroeyaculadores puede ofrecer oportunidades significativas para optimizar el proceso de recolección de semen. La IoT permitiría el monitoreo y ajuste en tiempo real de los parámetros de electroeyaculación, posiblemente mejorando la eficacia y reduciendo el estrés en los animales. Además, la IoT podría facilitar la recopilación y análisis de datos, lo que podría conducir a mejoras adicionales en el proceso de electroeyaculación. La recolección y análisis de datos en tiempo real durante el proceso de electroeyaculación podría proporcionar información valiosa para mejorar la eficiencia y reducir el estrés en los animales.

Por lo tanto, el problema que se plantea es el siguiente: ¿Cómo se puede desarrollar un electroeyaculador que incorpore tecnología de IoT para optimizar el proceso de recolección de semen en bovinos, ovinos y caprinos, teniendo en cuenta la eficacia, el bienestar animal y la accesibilidad para los productores a pequeña y mediana escala?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Este estudio tiene un alto grado de relevancia tanto desde una perspectiva social como técnica.

La industria ganadera juega un papel crucial en la economía y la seguridad alimentaria de muchas regiones. Mejorar la eficiencia y el bienestar animal en la recolección de semen puede tener un impacto significativo en la productividad de esta industria. Además, al reducir el estrés en los animales durante este proceso, estamos promoviendo prácticas más éticas y sostenibles de manejo animal, lo cual es cada vez más valorado por la sociedad.

El desarrollo de un electroeyaculador con tecnología IoT puede representar un avance significativo en términos técnicos en el campo de la reproducción animal. Este dispositivo permitiría un mejor control y monitorización del proceso de recolección de semen, lo que podría resultar en una mayor eficiencia y consistencia. La recolección de semen es un aspecto crítico de la industria ganadera, por lo que la mejora en esta área podría abrir nuevas oportunidades de negocio. Además, el dispositivo propuesto también podría tener aplicaciones en investigación y educación, proporcionando una herramienta valiosa para los investigadores y los profesionales de la salud animal.

El estudio implicará el uso de tecnología de vanguardia y metodologías avanzadas en diversas áreas. Desde la incorporación de tecnología IoT en el dispositivo, hasta la utilización de herramientas de diseño CAD para su desarrollo y la implementación de algoritmos avanzados para el análisis de datos. Este proyecto, por lo tanto, no sólo se alinea con las tendencias actuales en ingeniería electrónica, sino que también promueve la innovación y el avance en este campo.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un electroeyaculador incorporando tecnología de Internet de las Cosas (IoT) para optimizar el proceso de recolección de semen en animales bovinos, ovinos y caprinos.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar el prototipo de un electroeyaculador incorporando tecnología de IoT que permita el monitoreo y control en tiempo real del proceso de recolección de semen.
- Desarrollar el hardware y software necesario para el electroeyaculador, asegurando la eficacia y seguridad del dispositivo para su uso en animales bovinos, ovinos y caprinos.
- Implementar y optimizar un sistema de comunicación y análisis de datos que permita el manejo y la interpretación de la información recolectada por el dispositivo durante su uso.

### **1.5 METODOLOGÍA**

El proyecto se llevará a cabo de acuerdo con los siguientes pasos para alinearse con los objetivos propuestos:

### 1.5.1 Diseño del prototipo del electroeyaculador:

En esta etapa, se realizará el diseño del prototipo del electroeyaculador incorporando tecnología de IoT. Este diseño se basará en los requerimientos técnicos y de seguridad para la recolección de semen en animales bovinos, ovinos y caprinos. Se utilizarán herramientas de diseño CAD para el desarrollo del hardware y plataformas de desarrollo de IoT para la integración de los componentes electrónicos.

### 1.5.2 Desarrollo del hardware y software :

El desarrollo del hardware implicará la selección y ensamblaje de los componentes necesarios para la construcción del electroeyaculador. Esto incluirá la selección de los materiales adecuados, los sensores y los componentes electrónicos para el dispositivo. Simultáneamente, se llevará a cabo el desarrollo del software necesario para recopilar, transmitir y procesar los datos del dispositivo. Este software permitirá el monitoreo y control en tiempo real del proceso de recolección de semen.

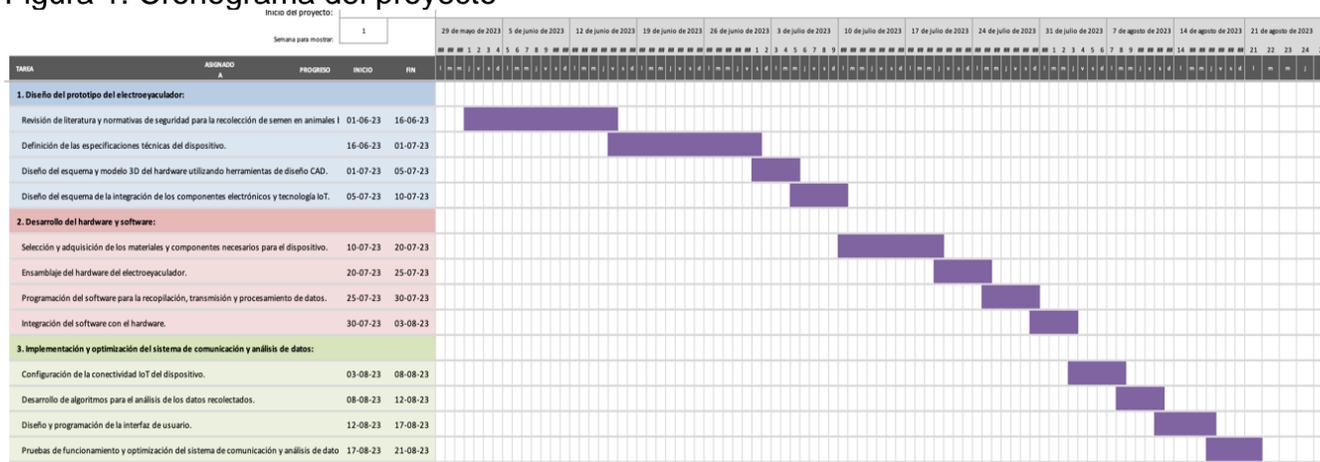
### 1.5.3 Implementación y optimización del sistema de comunicación y análisis de datos :

En esta etapa, se implementará y optimizará el sistema de comunicación y análisis de datos. Esto implicará la configuración de la conectividad IoT, el desarrollo de algoritmos para el análisis de los datos y la creación de una interfaz de usuario que permita la interpretación y el manejo eficiente de la información recolectada por el dispositivo.

### 1.5.4 CRONOGRAMA

Se propone realizar el presente estudio en un horizonte de tiempo de 4 meses como se aprecia en el siguiente diagrama:

Figura 1. Cronograma del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

## 1.5.5 RECURSOS

Tabla 1. Presupuesto del proyecto

<b>Equipos</b>						
<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Recurso Usco</b>	<b>Recurso Facultad</b>	<b>Recurso Contrapartida</b>	<b>Entidad Financiadora</b>
Módulos para IoT ESP32 o similar	1	45000				
Sensor de Fuerza Flexiforce	1	68000				
Sensor de Temperatura DS18B20	1	12000				
Módulo elevador de tensión DC-DC 12-35v	1	44000				
Amplificador LM358	1	2000				
LDC 16x2 5V	1	16200				
Transistor BD139 NPN	2	900				
Transistor BD140 PNP	2	900				
Optoacoplador 4n35	1	2000				
LED rojo	3	500				
Potenciometro 50k	3	1600				
Resistencias	varias	3000				
Diodo 1N5822	2	1000				
Mosfet IRF540	2	4000				
Circuito Impreso (14x9.5)	1	166600				
<b>Materiales, insumos y servicios técnicos</b>						
<b>Nombre</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Recurso Usco</b>	<b>Recurso Facultad</b>	<b>Recurso Contrapartida</b>	<b>Entidad Financiadora</b>
insumos electrónicos	1					
<b>Software</b>						
<b>Nombre</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Recurso Usco</b>	<b>Recurso Facultad</b>	<b>Recurso Contrapartida</b>	<b>Entidad Financiadora</b>
<b>Proteus 8.1</b>	1					
<b>Android Studio</b>	1					

Fuente: Elaboración propia.

## 1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

El estudio se centrará en:

- Desarrollar un prototipo de un electroeyaculador con tecnología IoT para uso en animales bovinos, ovinos y caprinos.
- Implementar un sistema de comunicación y análisis de datos para el monitoreo y control en tiempo real del proceso de recolección de semen.
- Optimizar el dispositivo y el software asociado con base en los resultados de las pruebas de campo.

Limitaciones del estudio:

- Recursos: La construcción y desarrollo del prototipo puede estar limitada por los recursos disponibles, incluyendo financiamiento, equipo y materiales.
- Tiempo: El desarrollo de hardware y software puede ser un proceso que requiere tiempo. Aunque se ha propuesto un cronograma, pueden surgir retrasos imprevistos.
- Conectividad: La eficacia de la tecnología IoT puede estar limitada por la calidad de la conectividad en las ubicaciones donde se realizarán las pruebas de campo.
- Normativas de bienestar animal: Todos los procedimientos deben estar en línea con las normativas de bienestar animal, lo que puede limitar ciertos aspectos del diseño y las pruebas del dispositivo.
- Experiencia técnica: El desarrollo y la implementación del proyecto requieren un alto nivel de experiencia técnica en áreas como la ingeniería electrónica, la programación y la ganadería. Las limitaciones en este aspecto podrían afectar la ejecución del proyecto.

## 2. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN ELECTROEYACULADOR INCORPORANDO TECNOLOGÍA DE IoT PARA EL MONITOREO Y CONTROL EN TIEMPO REAL DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE SEMEN.

### 2.1 NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL PROTOTIPO

En el desarrollo del prototipo se toma en cuenta los conceptos de los médicos veterinarios para determinar tanto el nivel de voltaje y los tiempos de aplicación y de descanso de los impulsos.

Actualmente existe en el mercado una variedad de electroeyaculadores, generalmente diseñados para uso en animales de granja, particularmente toros. Un inconveniente grave de los electroeyaculadores comerciales actualmente disponibles, exceptuando el control de voltaje y en algunos modelos, rangos de frecuencias, es que sólo producen estímulos eléctricos de características preestablecidas por el fabricante. Esto limita el uso de estos electroeyaculadores, ya que no permite el ajuste de las características de los estímulos eléctricos a las necesidades de una especie dada. Por esta razón diseñamos un electroeyaculador (Dooley y cols., 1983) con controles para la selección y ajuste de los estímulos eléctricos, tales como: forma de onda (sinusoide, rectangular o triangular), frecuencia (10 a 100 Hz), voltaje de salida (0 a 50 V), controles de modulación de amplitud, duración, “slope”, e intervalo entre estímulos sucesivos. (Pineda & Dooley, 2023). Además, de acuerdo con estos estudios, permiten construir el tipo de señal eléctrica con la cual se alcanzará una eyaculación segura y apropiada.

Para inducir la electroeyaculación, cada gato recibe un total de 240 estímulos eléctricos, divididos en 4 conjuntos de 60 estímulos cada uno, con un período de 5 min de descanso entre cada conjunto de estímulos. Los estímulos se dan con una onda sinusoide, a una frecuencia de 30 Hz y un voltaje de 6 V. Para cada conjunto de estímulos, el intervalo entre estímulos es de 3,0 seg. La duración de cada estímulo eléctrico, desde 0 a 6 V y desde 6 a 0 V, es de 1,5 seg y el “slope” de 0 V a 6 V es 0,4 seg. El amperaje en el área de contacto de los electrodos de la probeta con la mucosa rectal, para el voltaje de 6 V, fluctúa entre 46 y 95 Ma. Miliamperajes mayores o menores que los indicados para los 6 V son posibles, ya que el amperaje depende del grado de contacto de los electrodos con la mucosa rectal y de la cantidad y características de la materia fecal presente en el recto. (Pineda & Dooley, 2023)

Además, elementos fundamentales como el manejo del estrés del animal. (Nuñez, Hernandez, & Lago, 2018). En el trabajo realizado (Molina Mosquera, Polo Caquimbo, & Tovar Clavijo, 2011), establecen en su investigación los valores correspondientes al voltaje, frecuencia, tiempo de actividad y tiempo de descanso para diferentes especies animales.

Tabla 2. Señales eléctricas seguras para electroeyaculación en diferentes tipos de animales.

<b>Especie Animal</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Tiempo activo (Seg)</b>	<b>Tiempo de descanso (Seg)</b>
<b>Bovina</b>	0 – 20	50 – 100	5	5
<b>Caprina</b>	0 – 10	40 – 90	3	3
<b>Ovina</b>	0 – 10	40 – 90	3	3

Fuente: (Sundararaman, Kalatharan, & Edwin, 2007)

De acuerdo con lo anterior, se debe trabajar en un diseño que satisfaga las condiciones de las señales eléctricas y que garanticen la seguridad del animal. Además de las recomendaciones de obtener algunos signos vitales del animal, entre ellos, la temperatura corporal y la presión anal.

Se determinan las siguientes necesidades:

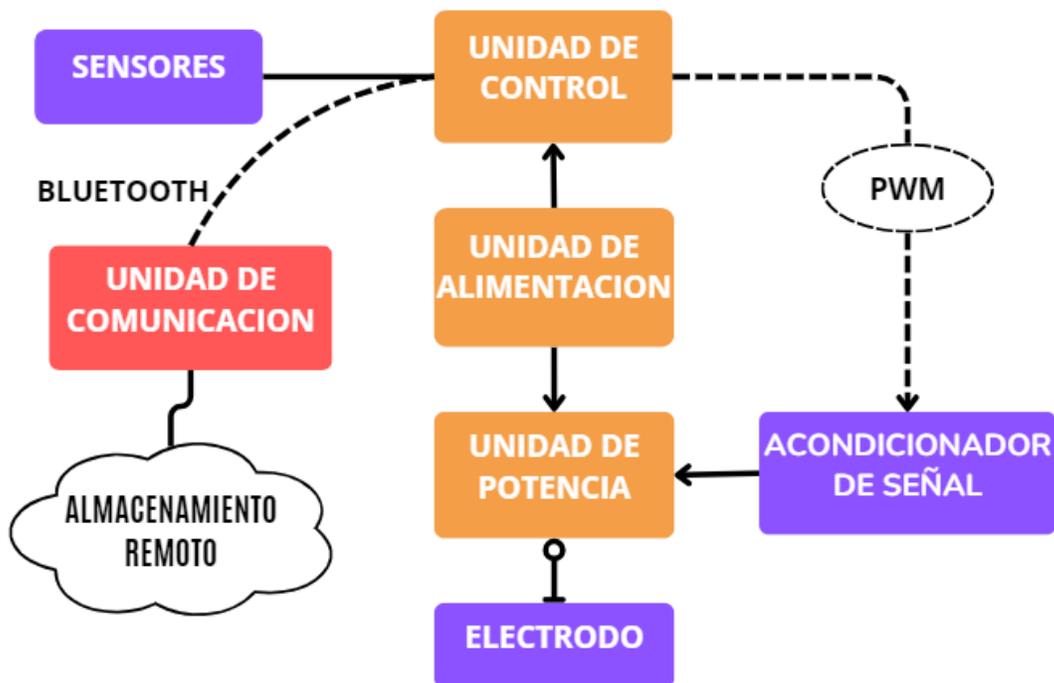
1. Señales de salida para el electrodo:
  - Controles de modulación de amplitud, duración, flanco de subida y de bajada, e intervalo entre estímulos sucesivos.
  - Controles para la selección y ajuste de los estímulos eléctricos, tales como: forma de onda (sinusoide, rectangular o triangular), frecuencia (10 a 100 Hz), voltaje de salida (0 a 20 V),
2. Controles:
  - Tipo de señal de salida
  - Amplitud
  - Tiempo de aplicación
  - Tiempo de espera (descanso)
3. Sensores:
  - Presión anal o Ritmo cardiaco
  - Temperatura corporal
4. Circuitos periféricos
  - Acondicionador de señal (Voltaje de salida)
  - Bluetooth
  - WiFi
5. Consideraciones del diseño mecánico:
  - Se prevé un equipo que se ubica en el animal, este se comunicará con la aplicación (App) o con un segundo equipo de control remoto
  - Control para la selección del programa para aplicar en cada caso
  - Botón de inicio
  - Botón de parada de emergencia
  - Display al menos de 2X16
6. El equipo controlado: En el animal.
  - Controlador que permita tener conexión WiFi y Bluetooth (Sugerido ESP32)

Finalmente se requiere innovar en:

- Electrónica de última generación
- Batería mejorada y tecnología de carga de batería
- Señal más suave para el toro
- Botón de bucle para repetir el último estímulo utilizado
- Contador de estímulos
- Ajuste automático, permite la interacción dentro del programa
- Múltiples programas preprogramados diseñado para razas específicas.

Los bloques funcionales del sistema se muestran en la Figura 2.

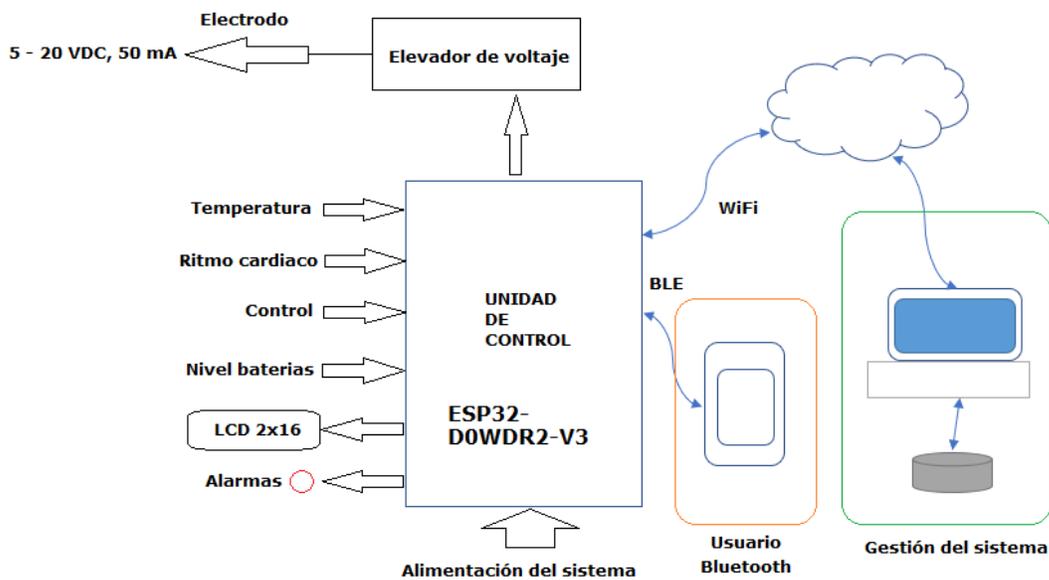
Figura 2. Bloques funcionales del sistema



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3, se describen los elementos básicos del sistema de electro eyaculación

Figura 3. Diagrama funcional del sistema Electro eyaculador.



Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 COMPONENTES DEL PROTOTIPO

### 2.2.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Para el desarrollo del prototipo se requieren el suministro de voltajes DC con diferentes valores de amplitud, de acuerdo con la tabla 3:

Tabla 3. Valores de voltaje para la operación del prototipo.

UNIDAD	VOLTAJE REQUERIDO
Unidad de control	5 VDC regulado
Subunidad de adecuación de señal	$\pm 12$ VDC
Subunidad de potencia	$\pm 15$ VDC
Unidad de sensores	5 VDC
Unidad de comunicación	5 VDC

Fuente: Elaboración propia.

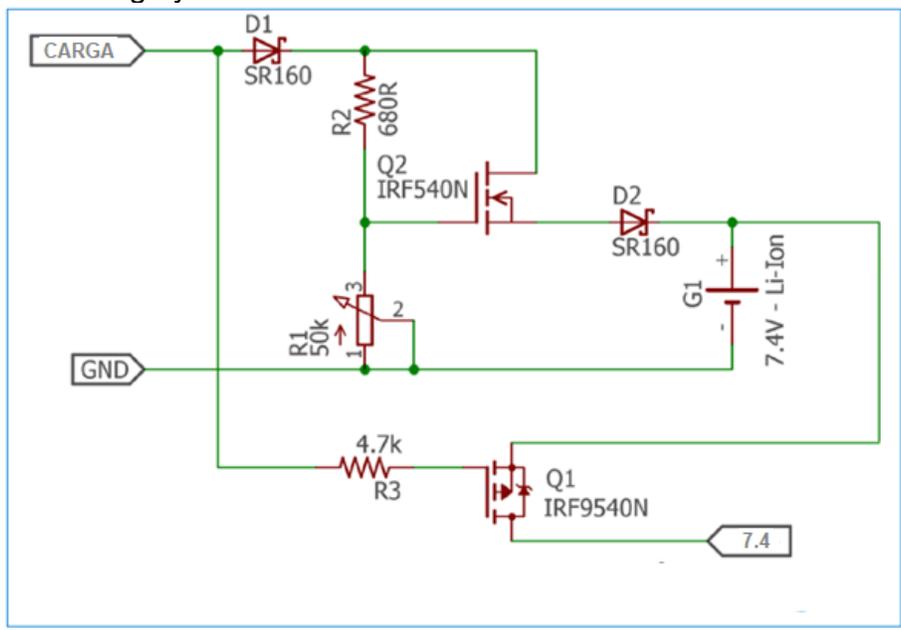
#### 2.2.1.1 FUENTE DE 7.4 VDC

Se propone inicialmente un sistema de carga de baterías que garanticen los 7.4 VDC y 1 Amperios, para que soporten el consumo de sistema. La etapa de carga de la batería y el suministro de los 5 VDC, se plantea dos condiciones:

1. Carga mediante panel solar
2. Carga mediante adaptador AC/DC

En la Figura 4, se detalla el sistema de carga de la batería y el suministro de 5 VDC. La carga se realiza mediante un panel solar de 6 watios, un sistema de bajada del voltaje de salida del panel que genera un adecuado voltaje de entrada en la tarjeta de carga de la batería, donde se tiene un puerto USB 3, para la conexión de un cargador AC/DC.

Figura 4. Módulo de carga y suministro de 7.4 VDC.

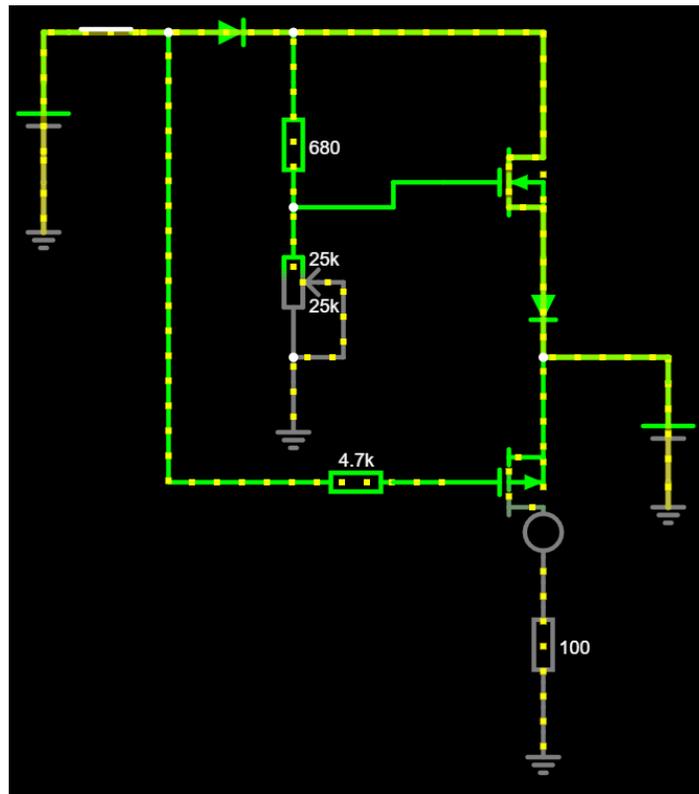


Fuente: Elaboracion Propia.

MOSFET Q2 de canal N, IRF540N se utiliza para la operación de control de carga. El potenciómetro RV1 se utiliza para establecer el nivel de voltaje de la batería controlando el voltaje de la puerta (GATE) del MOSFET Q2. El diodo rectificador Schottky D1 es un 1N5822 (3ª@40V), se utiliza para proteger la batería de la polaridad inversa, así como para bloquear el flujo inverso durante las condiciones de descarga. El diodo Schottky de salida D2 se utiliza para aislar la tensión del cargador con la tensión de la batería. Ver Figura 5.

En la Figura 5, se detalla el sistema de carga de la batería y el suministro de 5 VDC. La carga se realiza mediante un panel solar o mediante un cargador con puerto USB tipo C, para la conexión de un cargador AC/DC.

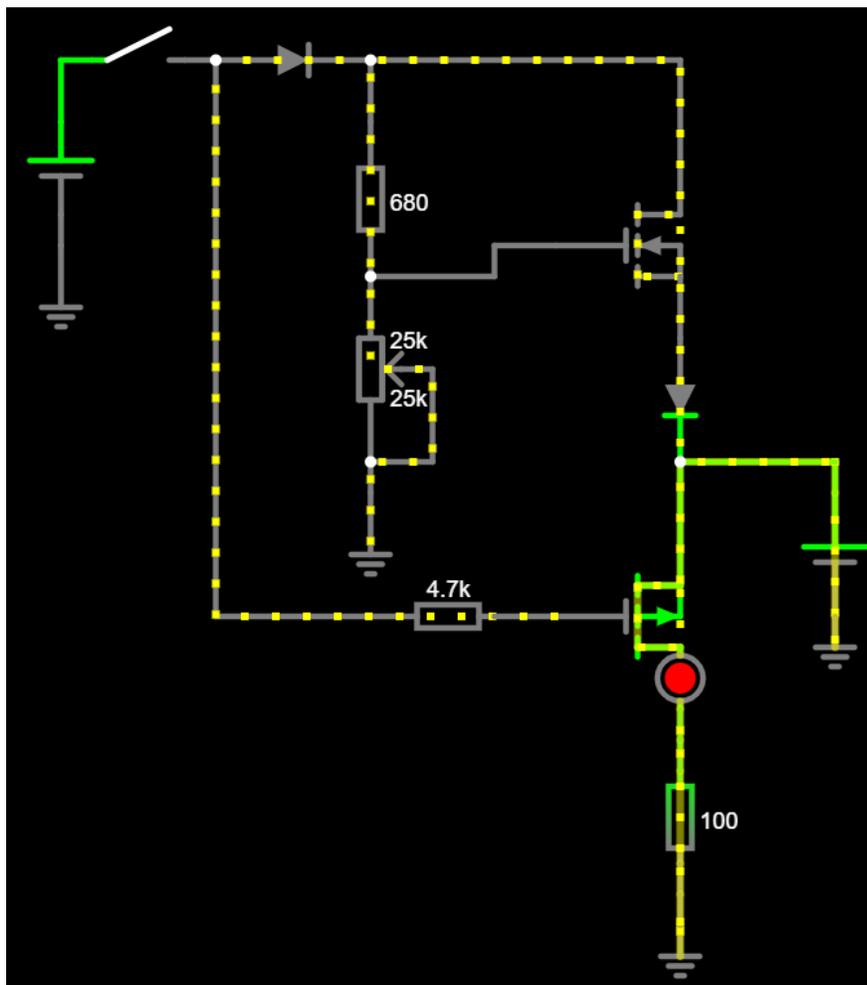
Figura 5. Carga de la batería



Fuente: Elaboracion Propia. Simulación en: <https://www.falstad.com/>

La otra parte del circuito se utiliza para las condiciones de carga. Esto lo hace el otro MOSFET Q1 de canal P, el IRF9540. La puerta (GATE) del MOSFET está controlada por el voltaje de carga (solar o el cargador). Por lo tanto, cada vez que conecta a un cargador, el MOSFET permanece apagado, pero al no tener conectado un cargador el MOSFET se enciende. Ver Figura 6

Figura 6. Baterías en estado de operación



Fuente: Elaboración propia. Simulación en: <https://www.falstad.com/>

Se debe tener las siguientes consideraciones:

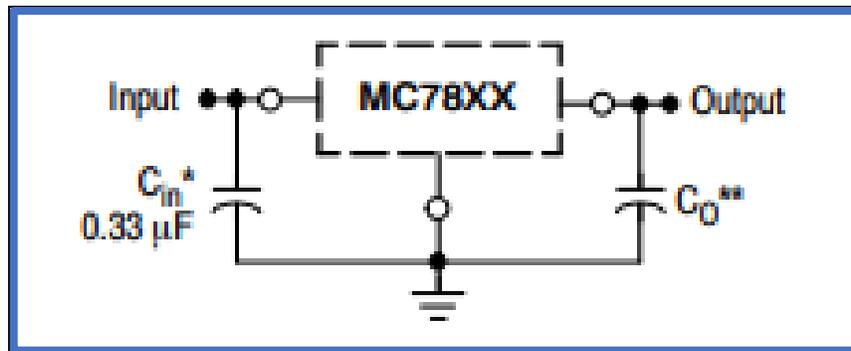
Tabla 4. Valores de voltaje para la operación con baterías.

CONSIDERACIÓN	VALOR
Voltaje de carga Batería de litio Ref.: 18650	4.2 V
Voltaje de descarga Batería Litio	3.0 V
2 baterías – carga (Ajuste en GATE Q2)	8.4 V
2 baterías – descarga (Programación en la Mc)	6.0 V

### 2.2.1.2 FUENTE REGULADA DE 5 VDC

Para este caso se usa el regulador de voltaje positivo LM7805, que permite hasta 1 amperios. Se requiere, de acuerdo al datasheet (Semiconductor, 2014) del componente, que el voltaje de entrada sea superior en al menos 2 VDC. Según la documentación, la configuración básica se observa en la Figura 4.

Figura 7. Configuración básica del LM7805.



Fuente: Elaboración propia.

La recomendación del fabricante:

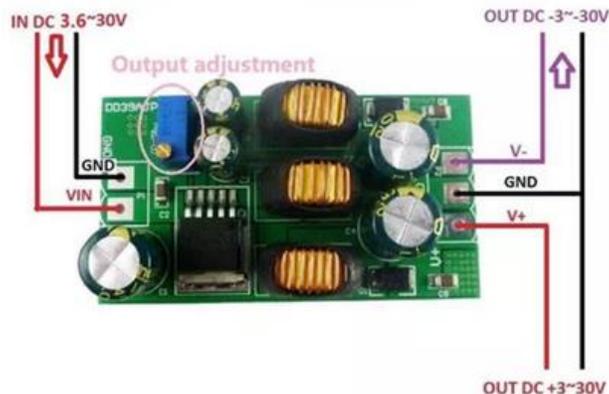
- ❖ Se requiere  $C_{in}$  si el regulador está ubicado en una distancia apreciable de la fuente de alimentación filtrar.
- ❖ El  $C_o$  no es necesario para la estabilidad; sin embargo, mejora la respuesta transitoria. Valores de menos de 0,1 Mf podría causar inestabilidad.

Para nuestro caso, los dos capacitores se determinan en 100 Mf.

### 2.2.1.3 FUENTE DE $\pm 15$ VDC

Una de las dificultades que se presentan está en la obtención de una fuente regulada tipo dual que garantice las necesidades del sistema. Para ello se recurre a un módulo existente en el mercado, Modulo Boost- Buck 20w Salida Dual Positiva Y Negativa  $\pm 30$ v. Ver Figura 6. Se toma la salida de la fuente de 5 VDC y se ajusta para que la salida tenga un valor de  $\pm 15$  VDC.

Figura 8. Modulo Boost- Buck 20w Salida Dual Positiva Y Negativa  $\pm 30$ v.



Este módulo funciona para convertir un voltaje positivo en un voltaje positivo y negativo es decir dual en la entrada y trabajar máximo con 30 voltios tanto en la entrada como en la salida, con una potencia máxima de 20W es un módulo reductor y elevador con una eficiencia hasta del 88%. Sus características:

- 20W  $\pm 5$ V, 6V, 9V, 10V, 12V, 15V y 24V fuente de alimentación de salida Dual positiva y negativa DC módulo convertidor Boost-Buck Step-up
- Compensación de frecuencia integrada

- Función de arranque suave incorporada
- Función de apagado térmico integrada
- Función de límite actual integrada

Especificaciones 27emperat:

- Voltaje de entrada 3,6 ~ 30V, salida  $\pm 3 \sim \pm 30V$  ajustable
- Potencia máxima de salida: 20W (para más detalles, consulta la descripción en la parte inferior o solicita información).
- Eficiencia de conversión: 69-88%
- Corriente de reposo: 3Ma
- Convertidor Boost-Buck de 20W DC-DC frecuencia de trabajo 180KHZ.
- Temperatura ambiente de funcionamiento: -40 ~ + 85 grados Celsius

Tabla 5. Relación de voltaje y corriente del elevador.

INPUT VOLTAGE(V)	INPUT CURRENT(A)	OUTPUT VOLTAGE(V)	OUTPUT CURRENT(A)
3.7	2.20	12	0.45
4.2	2.00	12	0.50
5	2.25	12	0.65
6	2.25	12	0.80
7.5	2.20	12	1.00
9	2.20	12	1.22
12	2.20	12	1.65
15	1.70	12	1.65
18	1.40	12	1.65
24	1.00	12	1.65

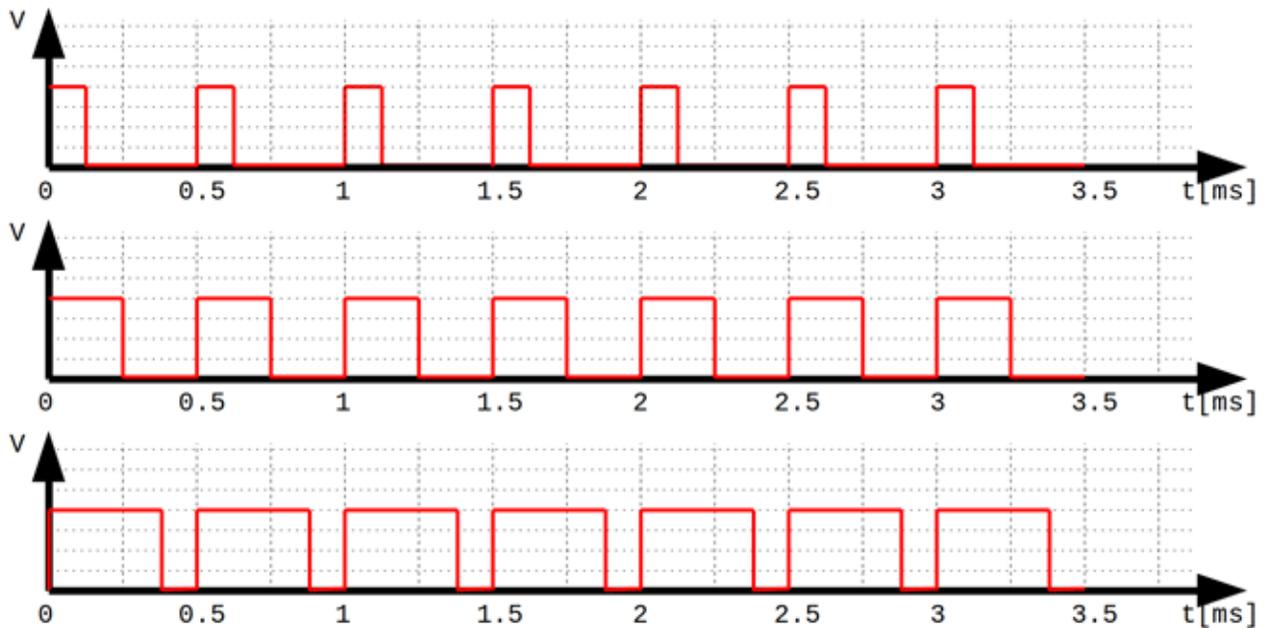
## 2.2.2 UNIDAD DE ADECUACIÓN DE SEÑAL

Como parte de esta etapa, primero se debe establecer el tipo de señal de salida que permita realizar el propósito de activar el proceso para la eyaculación. Por ello, se determina que la mejor señal es una señal controlada PWM. El término PWM proviene del inglés *Pulse Width Modulation* que significa modulación por ancho de pulsos. Una señal PWM es una señal digital similar al tren de pulsos cuadrados que hemos visto antes.

La principal diferencia con el tren de pulsos es que en la señal PWM, es posible variar el tiempo que la señal se mantiene en estado alto, pero siempre manteniendo el periodo constante, tal y como se muestra en la Figura siguiente.

Fuente: Elaboración propia.

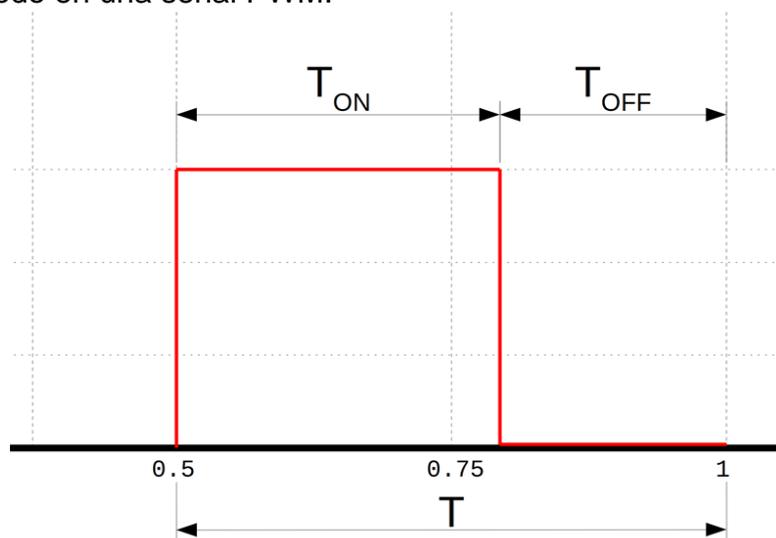
Figura 9. Señal PWM.



Fuente: Elaboración propia.

La importancia está en el periodo y la frecuencia son constantes. Lo que varía es el tiempo que está en estado alto (HIGH) y bajo (LOW). Esta capacidad de variar el tiempo en estado alto, es lo que realmente hace que la señal PWM sea tan útil y práctica.

Figura 10. Un periodo en una señal PWM.



Fuente: Elaboración propia.

Si tomamos un periodo de la señal tenemos lo siguiente:

- $T_{ON}$ : tiempo que la señal se mantiene en estado alto
- $T_{OFF}$ : tiempo que la señal se mantiene en estado bajo
- $T$ : periodo de la señal.

En la señal anterior se cumple:  $T = T_{ON} + T_{OFF}$ . Es lógico, el tiempo total ( $T$ ) es igual al tiempo que está en estado alto ( $T_{ON}$ ) más el tiempo que está en estado bajo ( $T_{OFF}$ )

El ciclo de trabajo o duty cycle de la señal es uno de los conceptos más importantes de una señal PWM. Este se representa mediante la letra  $D$  y se define como la razón entre el tiempo en estado alto ( $T_{ON}$ ) y el periodo de la señal ( $T$ ):

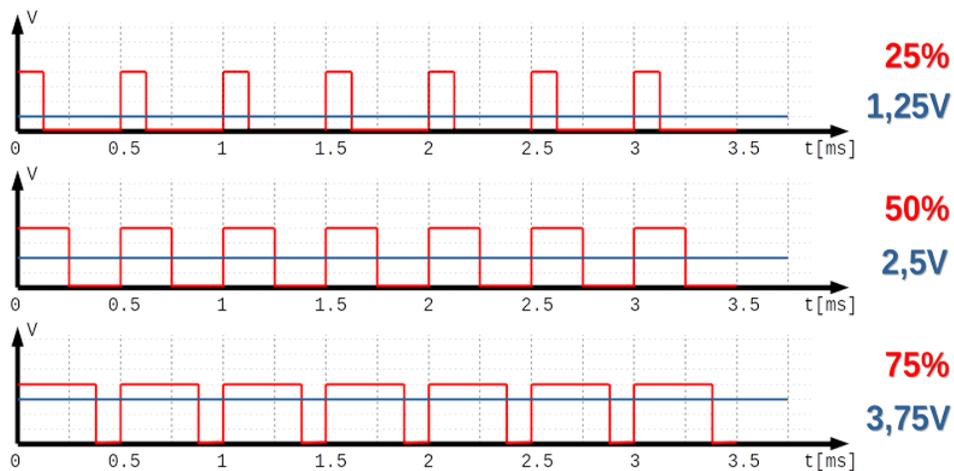
$$V(t) = \begin{cases} Vp, & 0 \leq t < T_{ON} \\ 0, & T_{ON} \leq t < T \end{cases}$$

$$\begin{aligned} V_{RMS} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T_{ON}} Vp^2(t) dt + \frac{1}{T} \int_{T_{ON}}^T 0^2(t) dt} \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} * Vp^2 [t]_0^{T_{ON}}} = \sqrt{\frac{1}{T} * Vp^2 * (T_{ON} - 0)} ; D = \frac{T_{ON}}{T} \end{aligned}$$

$$V_{RMS} = Vp * \sqrt{D}$$

$$D = \frac{T_{ON}}{T} * 100\%$$

Figura 11. Voltajes de salida de acuerdo al ciclo de trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

El ciclo de trabajo permite controlar el voltaje promedio de la señal, es decir, variar el voltaje de salida. Se cambia el voltaje de salida de 5V a 3,75 V, por ejemplo. Este parámetro es fundamental cuando la señal PWM se emplea como conversor digital-analógico. La cual es la función central del sistema.

El voltaje promedio se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_{prom} = (V_H - V_L) * \frac{D}{100}$$

Donde:

$V_H$  es el voltaje en estado alto.

$V_L$  es el voltaje en estado bajo.

Como en las placas ESP 32 el voltaje en estado bajo es normalmente 0V, la expresión se simplifica de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} V_{prom} &= \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^{T_{ON}} Vp(t) dt + \frac{1}{T} \int_{T_{ON}}^T 0(t) dt \\ &= Vp * \frac{T_{ON}}{T}; D = \frac{T_{ON}}{T} \end{aligned}$$

Donde:

$$V_{prom} = V_{cc} * \frac{D}{100}$$

$V_{cc}$  es el voltaje que manejan los pines digitales de la placa. 3,3V para la placa ESP 32, utilizada.

Cómo usar las salidas analógicas PWM en un ESP32. El ESP32 cuenta con múltiples pines que admiten la funcionalidad de PWM, lo que nos da una amplia flexibilidad para controlar diversos dispositivos. Cada modelo de ESP32 tiene una cantidad de PWM disponibles saliendo. Por ejemplo, el ESP32 tiene 16, mientras que el ESP32-S3 tiene 8. Sin embargo, el funcionamiento es algo distinto de lo que estamos acostumbrados en un Arduino "convencional". Esto es debido a que el ESP32 dispone más de una forma de generar salidas PWM. El equivalente al *analogWrite* que se emplea en Arduino para generar un PWM, en el caso del ESP32 sería la modulación que llaman *ledc*. Aunque la función se llama *ledc*, no significa que únicamente sirva para LEDs. Puede usarse para cualquier dispositivo, incluidos motores, transistores, etc.

Un ejemplo del código:

```
// el número del pin LED
const int ledPin = 16; // 16 corresponde a GPIO16

// ajuste de las propiedades PWM
const int freq = 100;
const int ledChannel = 0;
const int resolution = 8;
int dutyCycle1 = 0;
int dutyCycle2 = 63;
int dutyCycle3 = 125;
int dutyCycle4 = 250;
int i= 0;

void setup(){
  // configura las funciones PWM del LED
  ledcSetup(ledChannel, freq, resolution);

  // adjuntar el canal al GPIO a controlar
  ledcAttachPin(ledPin, ledChannel);
}

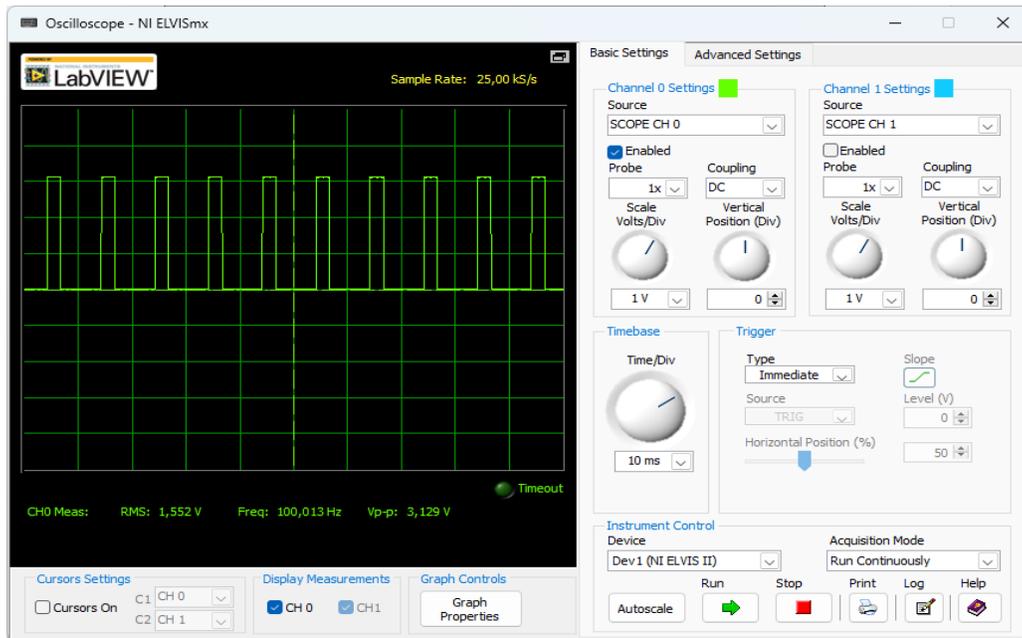
void loop(){

  // Ciclo 1, 5 segundos
  for(i = 0; i <= 500; i++) {
    ledcWrite(ledChannel, dutyCycle2);
    delay(10);
  }
  delay(5000);

  // Ciclo 2
  for(i= 0; i <= 500; i++) {
    ledcWrite(ledChannel, dutyCycle3);
    delay(10);
  }
  delay(5000);

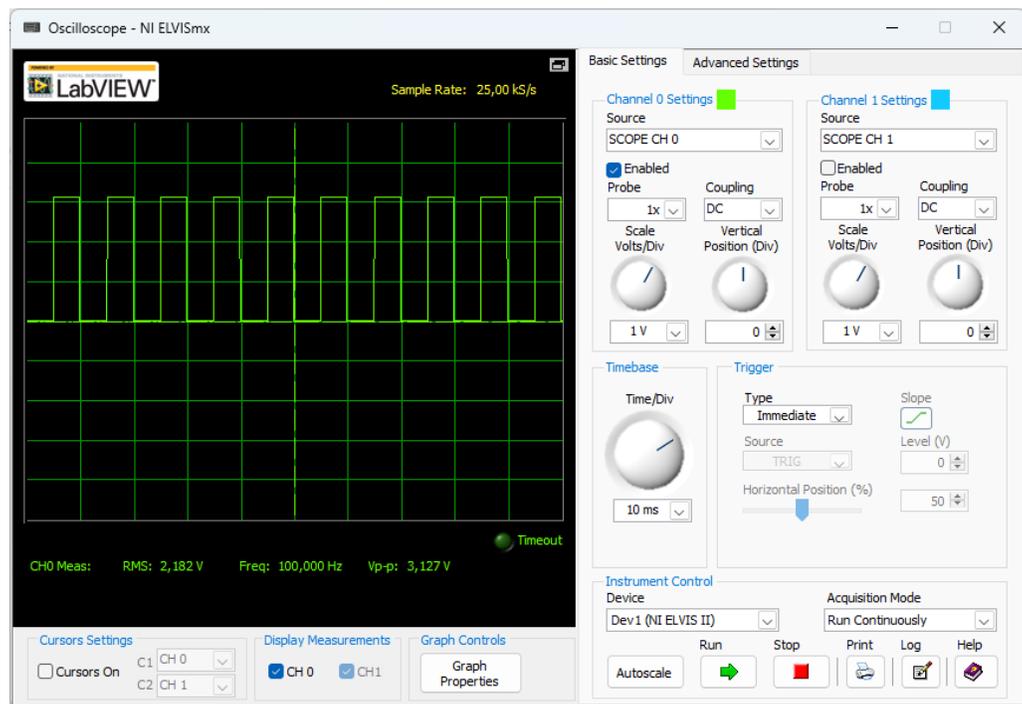
  // Ciclo 3
  for(i= 0; i <= 500; i++) {
    ledcWrite(ledChannel, dutyCycle4);
    delay(10);
  }
  delay(5000);
}
```

Figura 12. Señal de salida del ESP32, para PWM del 25%.



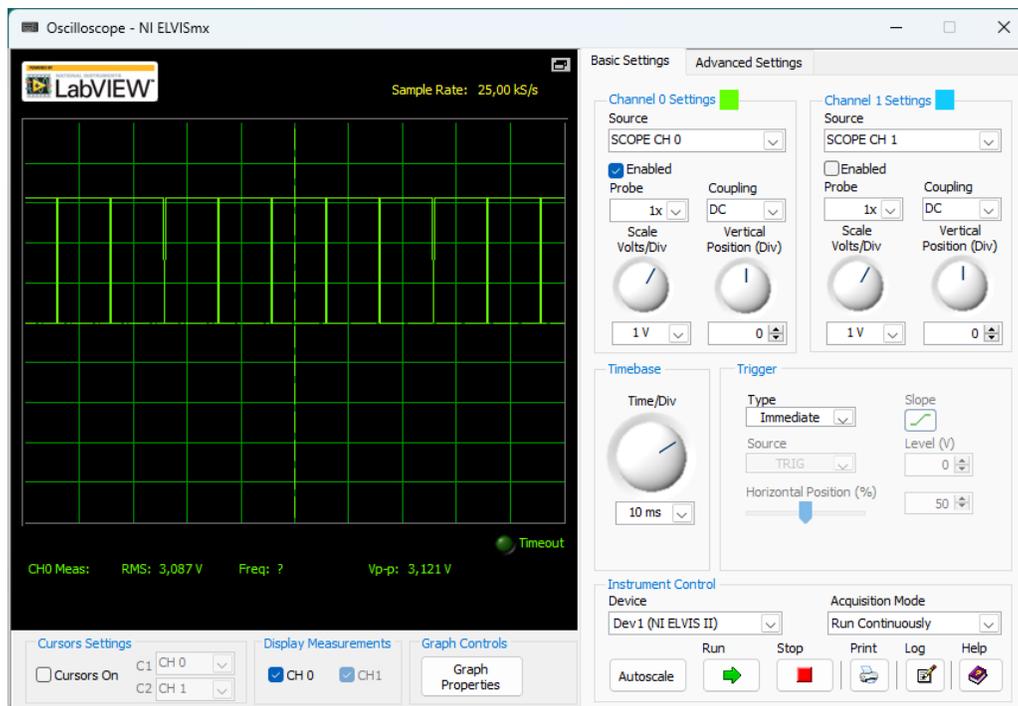
Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Señal de salida PWM del ESP para un 50%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Señal de salida PWM del ESP 32 para el 98%.

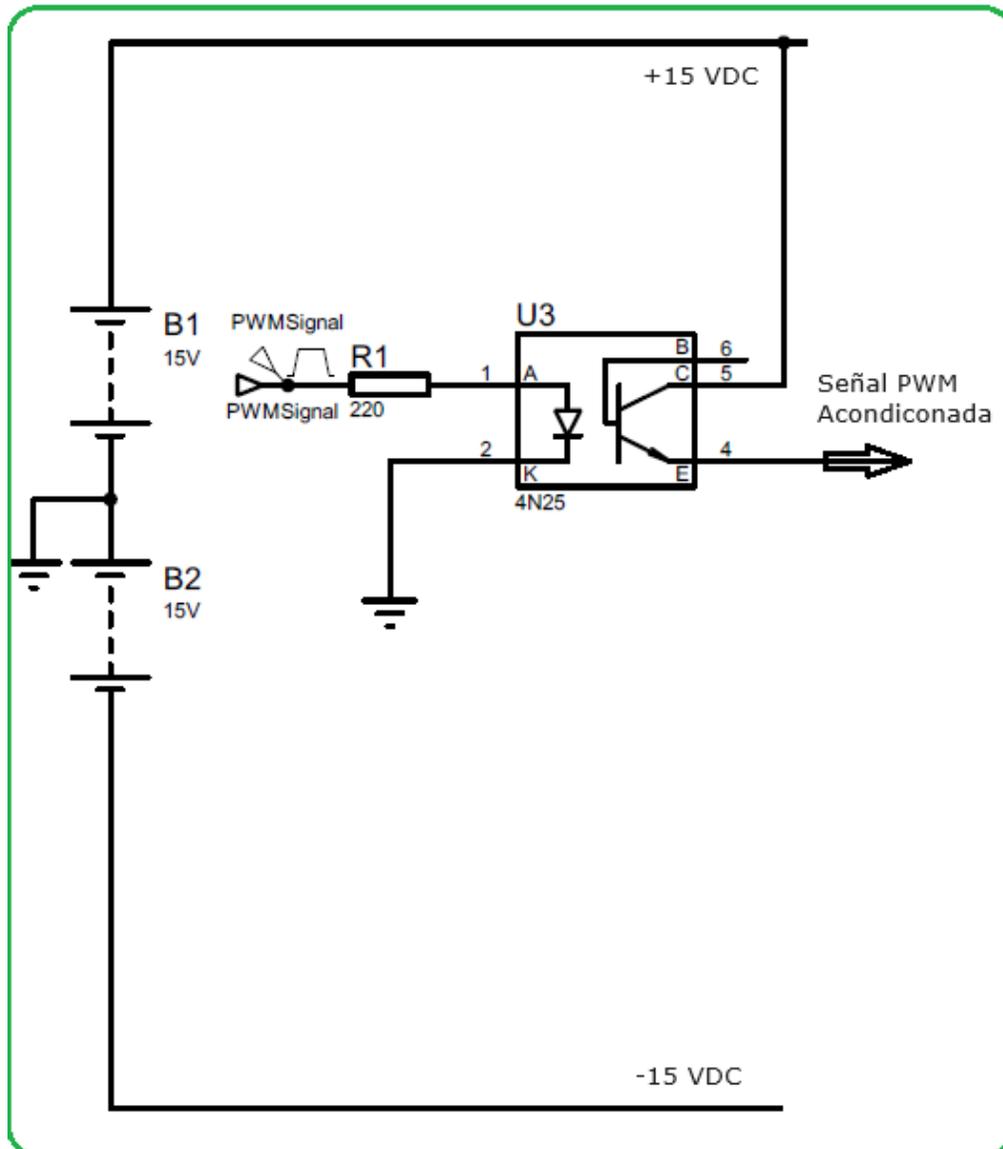


Fuente: Elaboración propia.

La salida de PWM de la unidad de control, corresponde a un nivel de voltaje que se establece mediante comandos propios de esta unidad. Este circuito está compuesto por una etapa acopladora mediante el uso de opto acoplador y que trabaja de acuerdo con el máximo voltaje de salida de la unidad de control (3.3 VDC).

La parte de acoplamiento se realiza mediante un optoacoplador no inversor. La señal PWM tomada de la salida del microcontrolador ESP 32, se conecta al optoacoplador mediante una resistencia de 220v. El optoacoplador se alimenta con el voltaje de +15 VDC, por lo tanto, ya no se requiere de varias fuentes de voltaje, sino de dos (2) la fuente regulada de 5 VDC que alimenta la unidad de procesamiento, los sensores y actuadores; y, la fuente de  $\pm 15$  VDC que alimenta la etapa de acondicionamiento y la etapa de potencia. Ver figura 13.

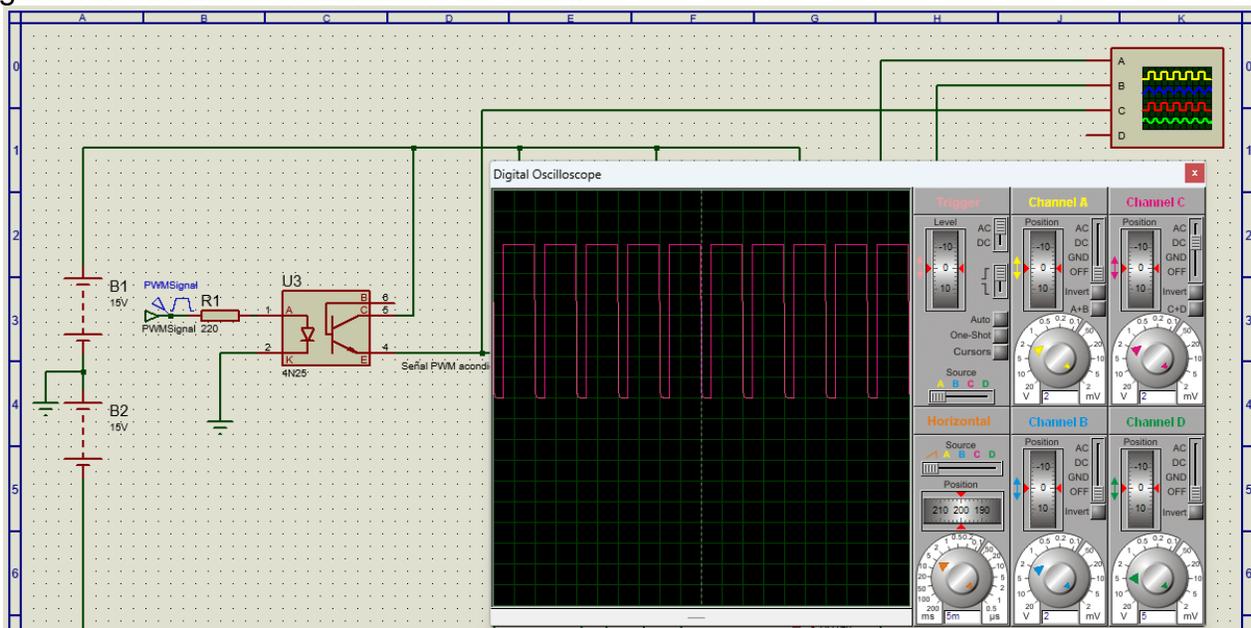
Figura 15. Circuito acondicionador de la señal PWM



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se observa la salida de la etapa acondicionadora donde del voltaje de salida es de +15 VDC.

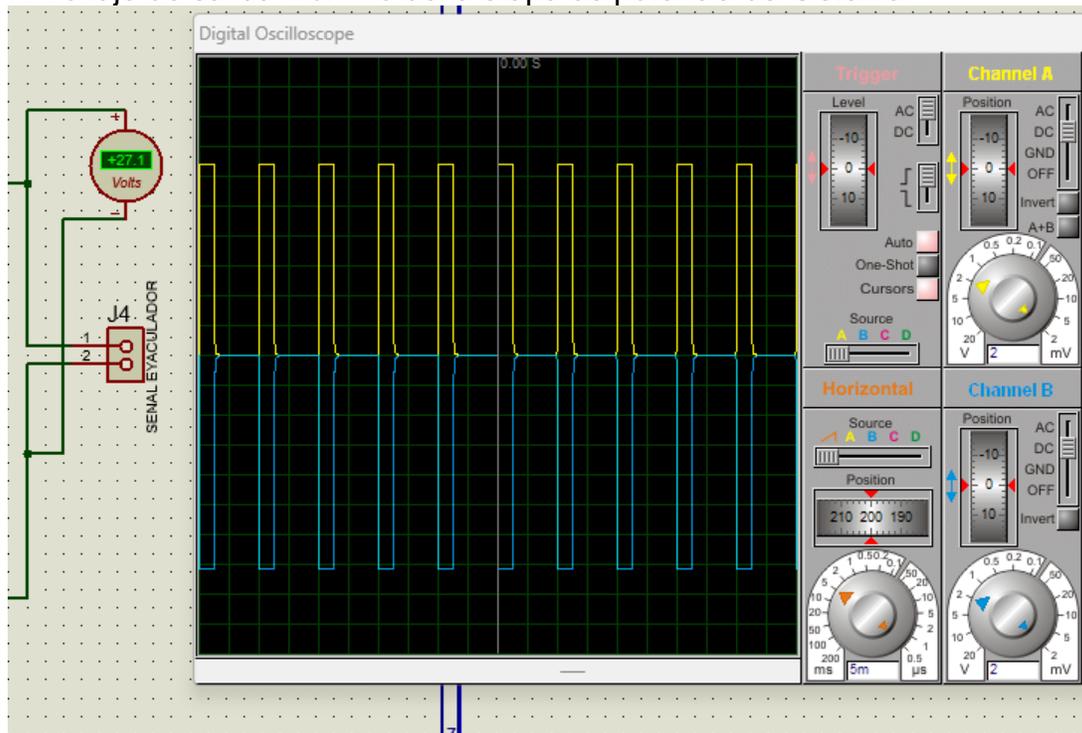
Figura 16. Circuito acondicionado de señal.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 15 se observa en la simulación que el voltaje de salida máximo para el electrodo está en 27.1 VDC, y este se ajusta mediante los potenciómetros RV1 y RV2, una vez realizado el montaje en el Setup del sistema, para garantizar el valor real ajustado.

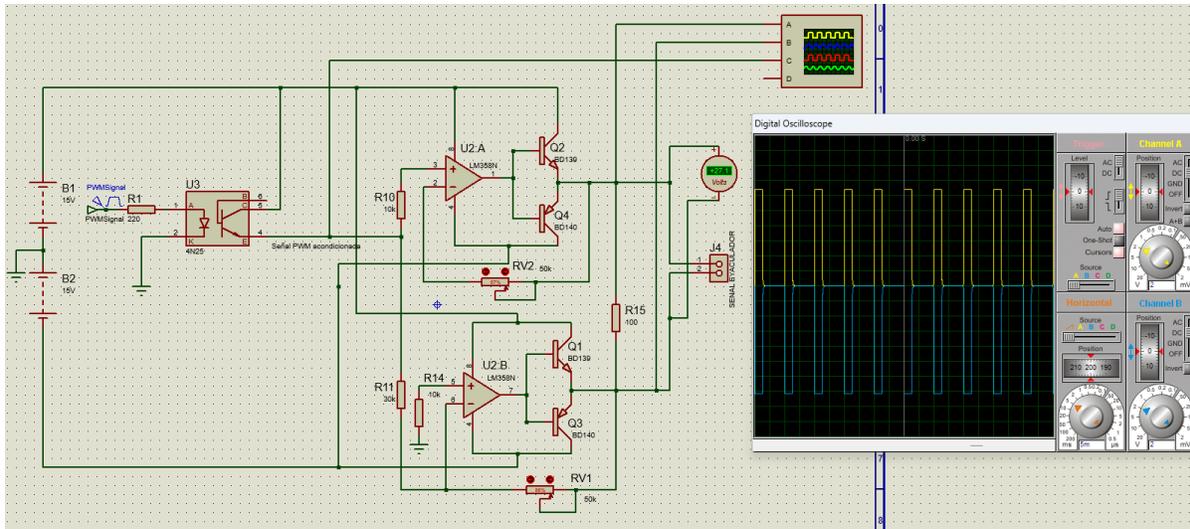
Figura 17. Voltaje de salida máximo de la etapa de potencia del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

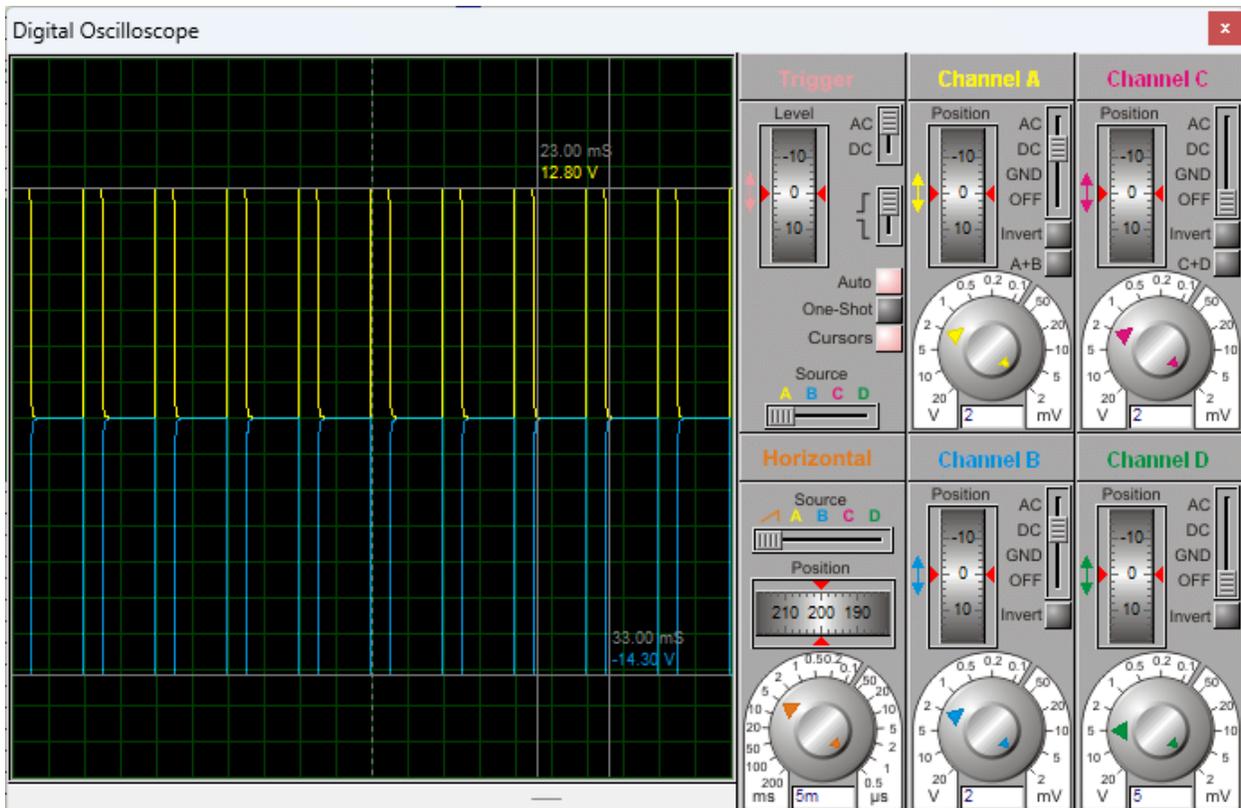
En las siguientes figuras (16 a 19), se observa la simulación para una señal PWM del 25% y 75% con una frecuencia de 100 Hz y una amplitud de 27.1 VDC.

Figura 7. Simulación de las etapas acondicionadora y de potencia – Potencia con una señal PWM del 25%.



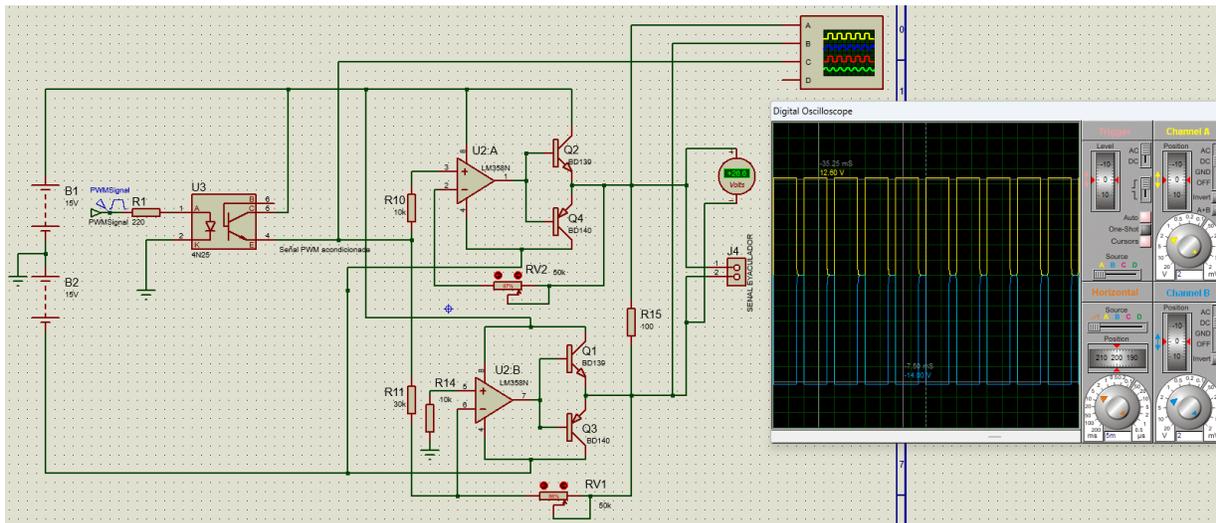
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Simulación de la etapa de potencia – Potencia con una señal PWM del 25%.



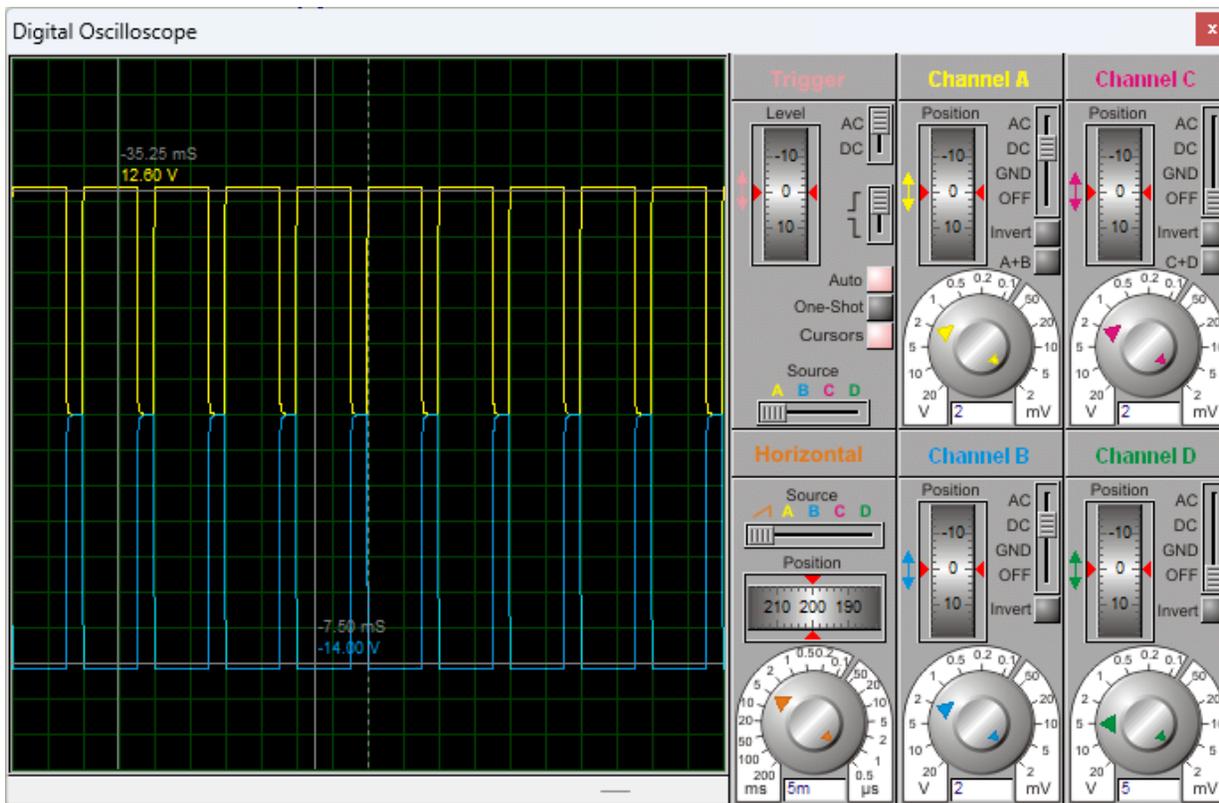
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Simulación de las etapas acondicionadora y de potencia – Potencia con una señal PWM del 75%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Simulación de la etapa de potencia – Potencia con una señal PWM del 75%.

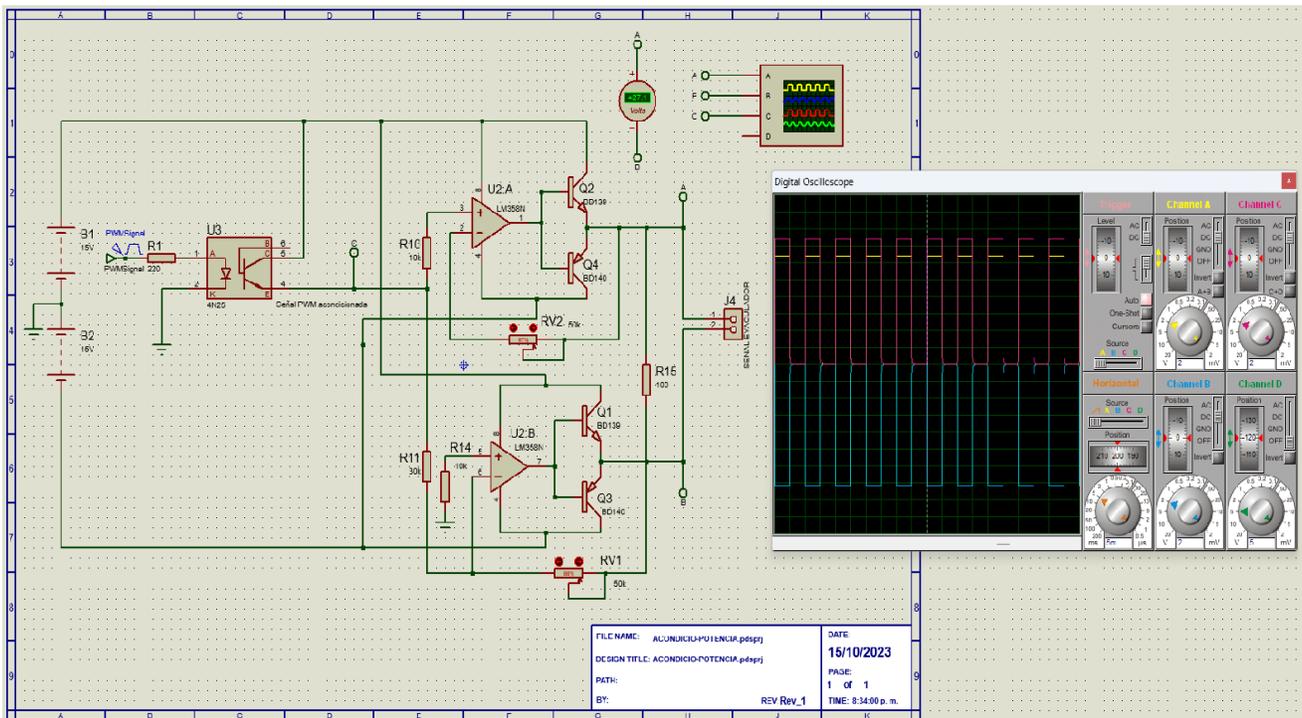


Fuente: Elaboración propia.

## 2.2.3 UNIDAD DE POTENCIA

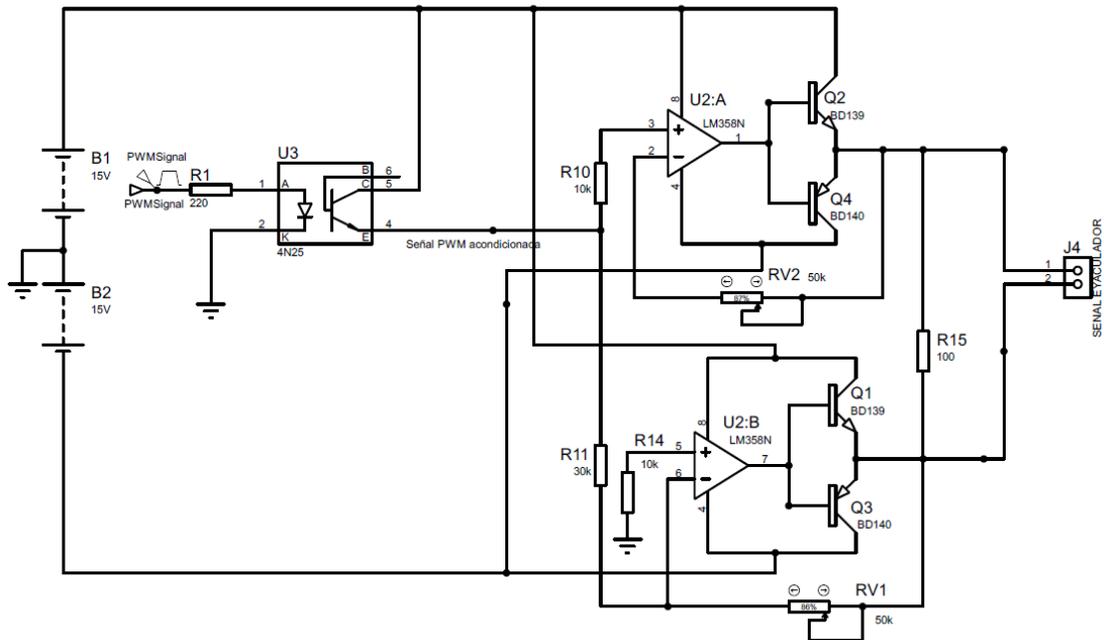
Para poder aplicar la señal estimulante a un animal, es necesario contar con un circuito capaz de suministrar un nivel de voltaje estable de acuerdo con la Tabla 2. Además, la señal debe ser estable y garantizar una corriente de salida. Luego, la señal que entrega la unidad de control, y es amplificada en la unidad de adecuación de señal, en esta etapa, se requiere tener una señal alterna (AC) a partir de la señal de salida de la unidad de acondicionamiento. Para ello, se recurre a una etapa amplificadora de potencia tipo B complementarias, precedida de cada una por una unidad de amplificación, mediante el uso del circuito LM324. Habrá señal cuando uno de ellos complementos estén polarizado de acuerdo con la variación de la señal, en las bases de los transistores amplificadores. El esquema se observa en la ilustración siguiente:

Figura 22. Simulación de las etapas acondicionadora y de potencia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Amplificador de potencia.

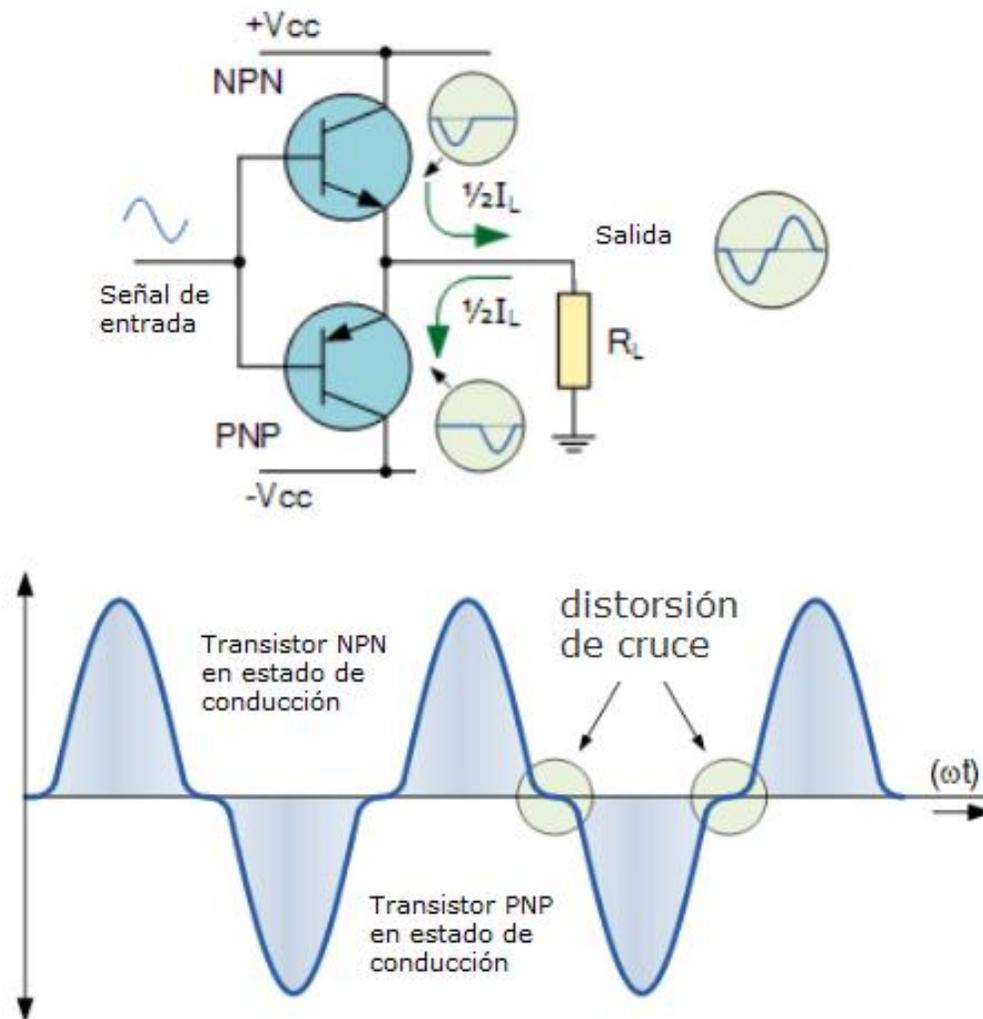


Fuente: Elaboración propia.

Se mantiene el mismo diseño usado por Molina Mosquera, Polo Caquimbo, & Tovar Clavijo (2011) pero con ajuste mínimo teniendo en cuenta que los transistores en un amplificador de clase B no llegan al conducir el 50%, ya que ambos necesitan tener una polarización al menos de 0,7 volt Emisor-Base para empezar a conducir y amplificar. Esto supone que de la señal de entrada, en los primeros 0,7 volt. (positivos y negativos), la señal de salida va a estar a "0". Y sólo cuando en la entrada se superen los 0,7 volt. E-B podrá empezar a amplificar la salida. Esto, al final, produce inevitablemente una falta de amplificación en torno a los valores cercanos a "0" volt. Denominada "distorsión de paso por cero" o "distorsión de cruce", característica de los amplificadores en Clase B. (Ver: Figura 21)

Para el caso, la señal de entrada es una señal cuadrada positiva, la cual se invierte en el segundo amplificados U2:B de la Figura 22. Para tener de manera simultanea tanto el valor positivo como el negativo y así garantizar una salida de al menos 20 VDC. Y no una señal desfasada.

Figura 24. Amplificador Clase B Complementario.



Características / especificaciones técnicas para el transistor BD139:

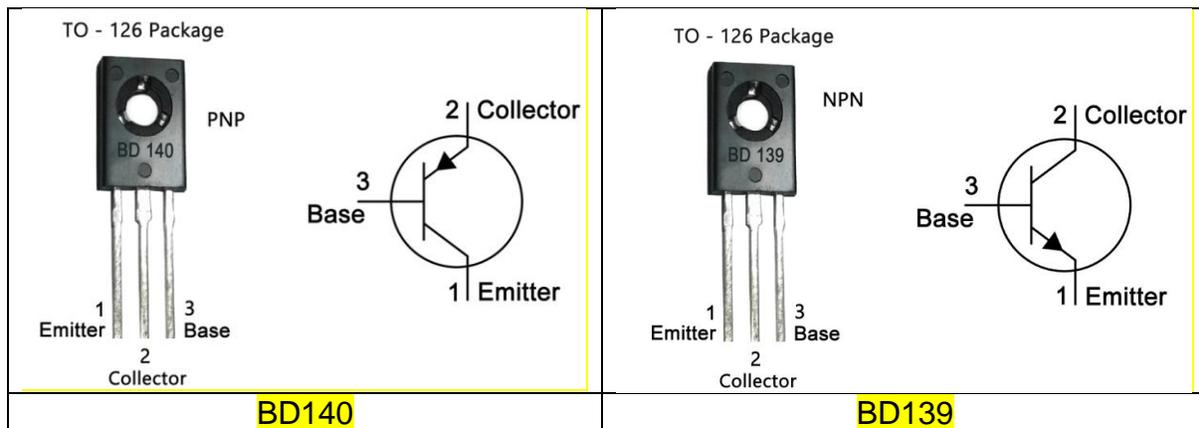
- Tipo de embalaje: TO-126
- Tipo de transistor: NPN
- Corriente máxima de colector ( $I_C$ ): 1.5<sup>a</sup>
- Max Voltaje Colector-Emisor (VCE): 80V
- Tensión máxima colector-base (VCB): 80V
- Tensión máxima emisor-base (VEBO): 5V
- Disipación máxima del colector ( $P_C$ ): 12,5 vatios
- Frecuencia de transición máxima ( $f_T$ ): 190 MHz
- Ganancia mínima y máxima de corriente continua ( $h_{FE}$ ): 25 – 250
- Temperatura máxima de almacenamiento y funcionamiento: -55 a +150 grados centígrados

Características / especificaciones técnicas para el transistor BD140:

- Tipo de embalaje: TO-126

- Tipo de transistor: PNP
- Corriente máxima de colector (IC): -1.5<sup>a</sup>
- Tensión máxima colector-emisor (VCE): -80V
- Tensión máxima colector-base (VCB): -80V
- Max Voltaje Emisor-Base (VEBO): -5V
- Disipación máxima del colector (Pc): 12,5 vatios
- Frecuencia de transición máxima (Ft): 190 MHz
- Ganancia mínima y máxima de corriente continua (Hfe): 25 – 250
- Temperatura máxima de almacenamiento y funcionamiento: -55 a +150 grados centígrados

Figura 25. Transistores BD140 y BD139



Fuente: Elaboración propia.

**LM324:** Un amplificador operacional, es fundamentalmente un dispositivo de amplificación de tensión de alta ganancia acoplado a CC que está diseñado idealmente para el acondicionamiento de señales, amplificación de CC, filtrado y para ser utilizado con componentes de realimentación externos tales como condensadores y resistencias entre sus terminales de salida y entrada.

**Entrada no inversora:** La entrada no inversora del amplificador operacional está marcada con un signo “+” en el diagrama del circuito en el LM-358 la entrada no inversora es el pin número 3. Se encuentra que un voltaje positivo aplicado a la entrada no inversora entonces no cambiará y producirá una oscilación positiva en la salida. Si una forma de onda cambiante, tal como una onda sinusoidal se aplica a la entrada no inversora tal como el pin número 3 en el LM-358, entonces aparecerá en el mismo sentido en la salida. No se ha invertido.

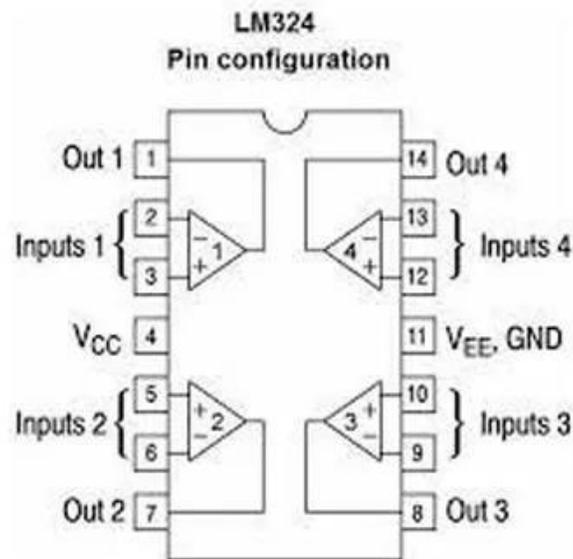
**Entrada inversora:** La entrada inversora del amplificador operacional está marcada con un signo “-” en el diagrama del circuito en el LM-358 la entrada inversora es el pin número 2.

Cuando se aplica una tensión positiva a la entrada inversora se produce una oscilación de tensión negativa. Así, un seno aplicado a la entrada inversora aparecerá invertido en la salida.

Valores del LM358:

- Integrado con dos Op-Amps en un solo encapsulado
- Amplio rango de alimentación
- Alimentación simple – 3V a 32V
- Doble alimentación -  $\pm 1.5V$  a  $\pm 16V$
- Rango de tensión diferencial de entrada  $\pm 32$
- Baja corriente de alimentación – 700Ua
- Rango de tensión de modo común de entrada -0,3 a 32
- Una sola alimentación para dos op-amps permite un funcionamiento fiable
- Temperatura de unión 150°C
- Temperatura ambiente de funcionamiento – 0°C a 70°C
- Rango de temperatura de almacenamiento – 65°C a 150°C
- Temperatura del pin de soldadura – 260 °C (durante 10 segundos – prescrito)
- Salidas protegidas contra cortocircuitos
- Paquetes disponibles: TO-99, CDIP, DSBGA, SOIC, PDIP, DSBGA

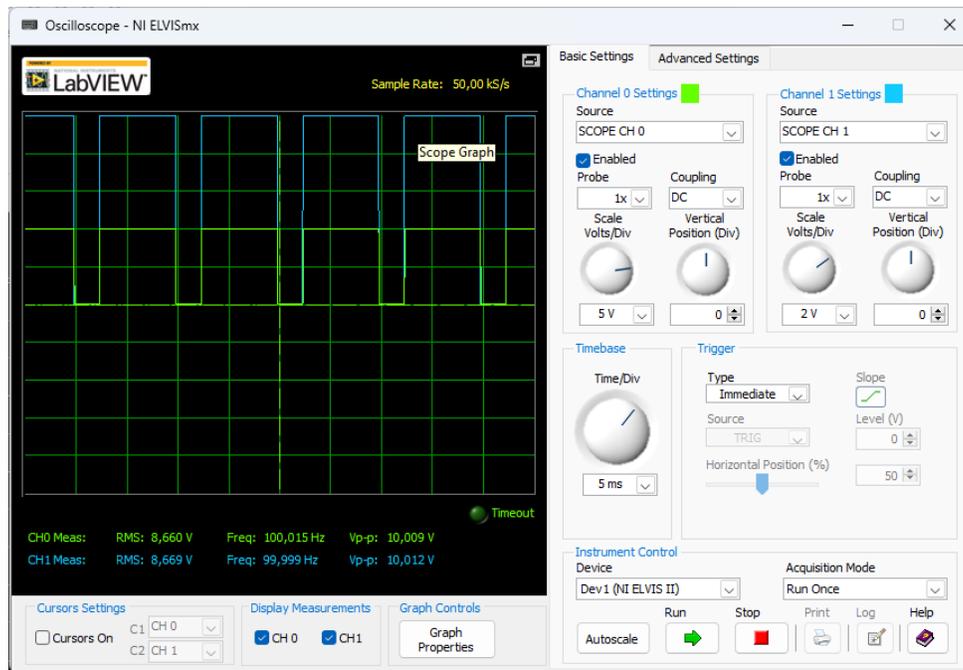
Figura 26. Amplificador Operacional LM324



### 2.3 PRUEBAS SOBRE EL CIRCUITO

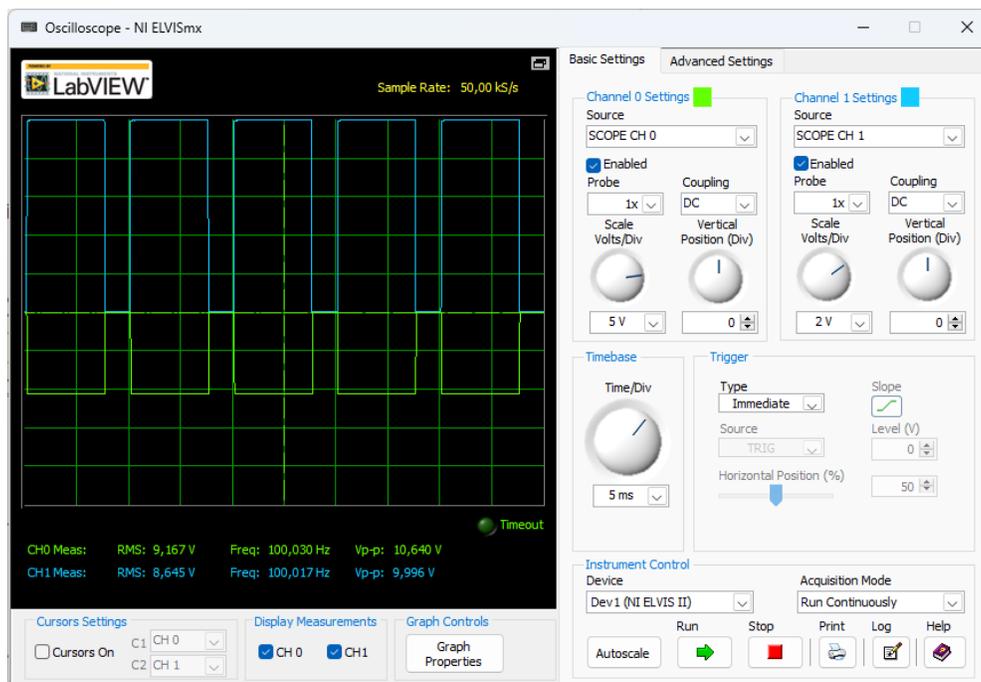
Se observa que con respecto de la señal de entrada (Channel 1, línea azul, y con una amplitud por cuadro de 2 VDC) responde de forma satisfactoria a la señal de entrada (Channel 0; línea verde). El voltaje de alimentación en la etapa acondicionadora y de potencia se ha tomado de  $\pm 12$  VDC.

Figura 27. Salida del Amp-Op LM324 U2-A.



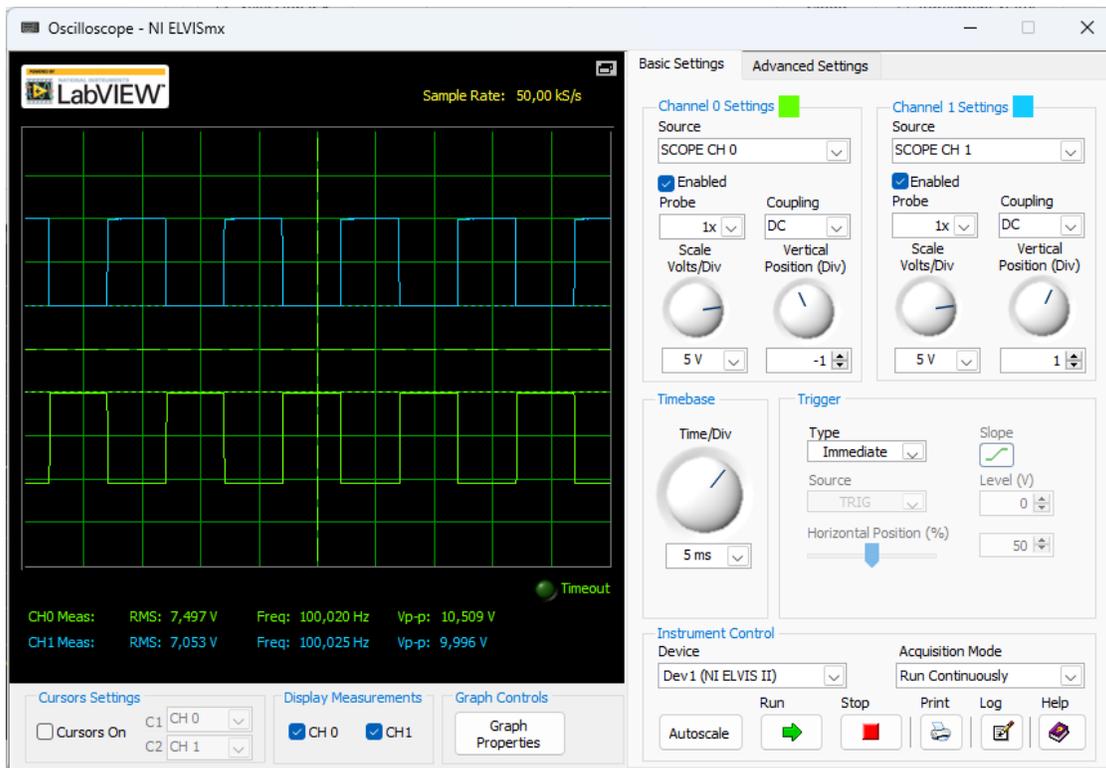
Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Salida del Amp-Op LM324 U2-B



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Salidas del Amp-Op LM324



Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia que las dos señales que se entregan a la etapa de potencia cumplen con los requerimientos.

## 2.4 UNIDAD DE CONTROL

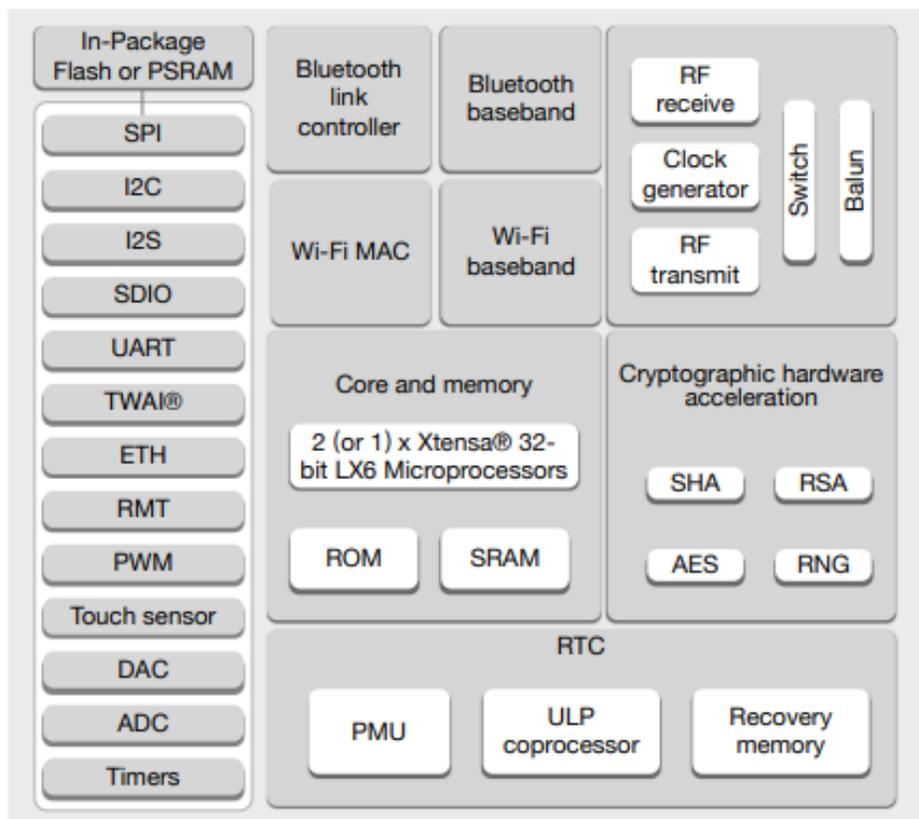
Frente a las necesidades del sistema, se requiere que la unidad de control tenga entre otras características:

- Bajo consumo
- Comunicación WiFi y Bluetooth
- Puertos de propósitos generales
- Puertos PWM

Se decanta por el uso de un módulo del fabricante Espressif Systems (Espressif, 2023), popularmente conocido como ESP 32. En los siguientes apartes, se describen las características de este dispositivo. Debe garantizarnos:

- Una salida PWM para el electrodo
- Una entrada de señales cardiacas → AD8232
- Una entrada de señal de temperatura → MLX90614 termómetro infrarrojo
- Una entrada para la medición del estado de la batería

Figura 30. Diagrama de bloques funcionales del ESP32.



Fuente: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)

En la figura 28 se puede observar que el dispositivo seleccionado cumple con las condiciones mínimas necesarias para el electro eyaculador. Posee los servicios de comunicación WiFi y Bluetooth. Los puertos gestionan diferentes tipos de comunicación como I2C, 1-WIRE, UART y PWM, como los puestos de conversión tanto análogo-digital y digital-análogo. Además, tiene la posibilidad de garantizar la seguridad del software de control mediante el hardware de encriptación.

Sus características funcionales (Espressif, 2023) son:

### Wi-Fi

- 802.11b/g/n
- 802.11n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- WMM
- TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU
- Immediate Block ACK
- Defragmentation
- Automatic Beacon monitoring (hardware TSF)
- 4 x virtual Wi-Fi interfaces
- Simultaneous support for Infrastructure Station, SoftAP, and Promiscuous modes. Note that when ESP32 is in Station mode, performing a scan, the SoftAP channel will be changed.
- Antenna diversity

## **Bluetooth®**

- Compliant with Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specifications
- Class-1, class-2 and class-3 transmitter without external power amplifier
- Enhanced Power Control
- +9 dBm transmitting power
- NZIF receiver with –94 dBm Bluetooth LE sensitivity
- Adaptive Frequency Hopping (AFH)
- Standard HCI based on SDIO/SPI/UART
- High-speed UART HCI, up to 4 Mbps
- Bluetooth 4.2 BR/EDR and Bluetooth LE dual mode controller
- Synchronous Connection-Oriented/Extended (SCO/Esco)
- CVSD and SBC for audio codec
- Bluetooth Piconet and Scatternet
- Multi-connections in Classic Bluetooth and Bluetooth LE
- Simultaneous advertising and scanning

## **CPU and Memory**

- Xtensa® single-/dual-core 32-bit LX6 microprocessor(s)
- CoreMark® score:
  - 1 core at 240 MHz: 504.85 CoreMark; 2.10 CoreMark/MHz
  - 2 cores at 240 MHz: 994.26 CoreMark; 4.14 CoreMark/MHz
- 448 KB ROM
- 520 KB SRAM
- 16 KB SRAM in RTC
- QSPI supports multiple flash/SRAM chips
  - Clocks and Timers
- Internal 8 MHz oscillator with calibration
- Internal RC oscillator with calibration
- External 2 MHz ~ 60 MHz crystal oscillator (40 MHz only for Wi-Fi/Bluetooth functionality)
- External 32 kHz crystal oscillator for RTC with calibration
- Two timer groups, including 2 × 64-bit timers and 1 × main watchdog in each group
- One RTC timer
- RTC watchdog
  - Advanced Peripheral Interfaces
- 34 × programmable GPIOs
  - 5 strapping GPIOs
  - 6 input-only GPIOs
  - 6 GPIOs needed for in-package flash/PSRAM (ESP32-D0WDR2-V3, ESP32-U4WDH)
- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2 × 8-bit DAC
- 10 × touch sensors
- 4 × SPI
- 2 × I2S
- 2 × I2C
- 3 × UART

- 1 host (SD/Emmc/SDIO)
- 1 slave (SDIO/SPI)
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support
- TWAI®, compatible with ISO 11898-1 (CAN Specification 2.0)
- RMT (TX/RX)
- Motor PWM
- LED PWM up to 16 channels

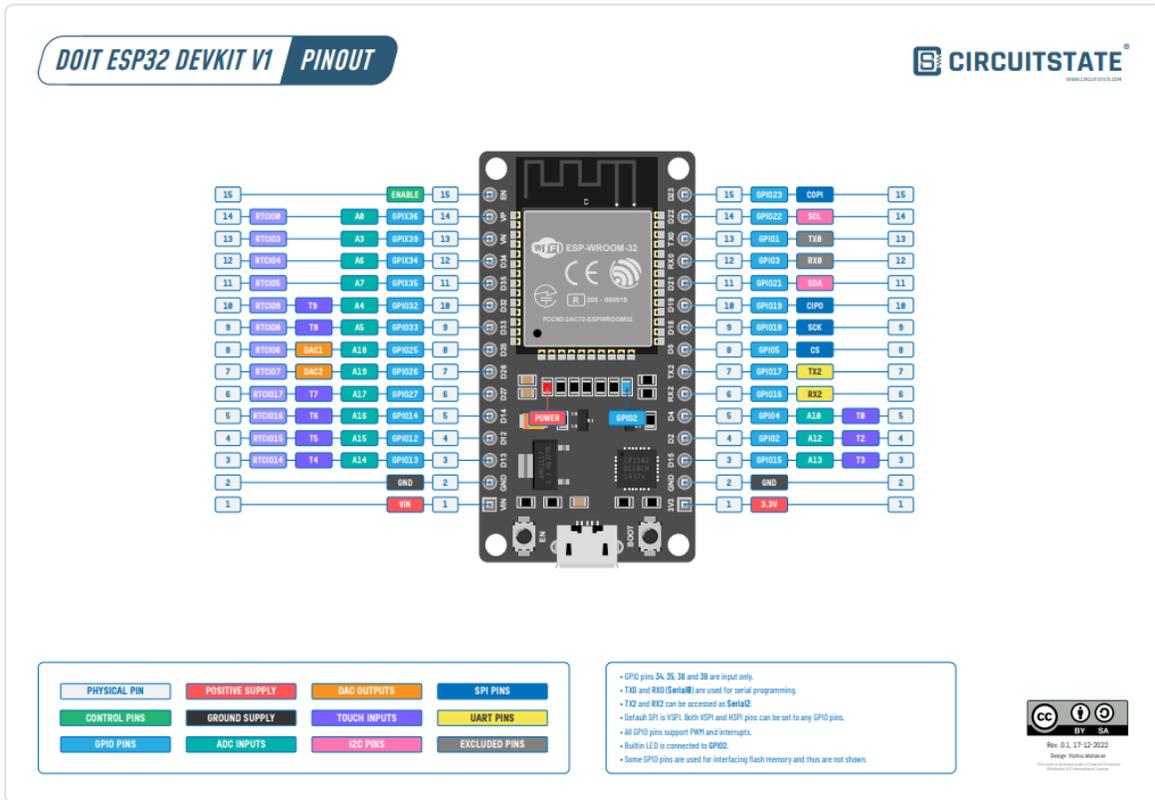
### **Power Management**

- Fine-resolution power control through a selection of clock frequency, duty cycle, Wi-Fi operating modes,
  - and individual power control of internal components
- Five power modes designed for typical scenarios: Active, Modem-sleep, Light-sleep, Deep-sleep,
  - Hibernation
- Power consumption in Deep-sleep mode is 10  $\mu$ A
- Ultra-Low-Power (ULP) coprocessors
- RTC memory remains powered on in Deep-sleep mode
  - Security
- Secure boot
- Flash encryption
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers
- Cryptographic hardware acceleration:
  - AES
  - Hash (SHA-2)
  - RSA
  - ECC
  - Random Number Generator (RNG)

La placa seleccionada y que tiene facilidad de conseguirse en el comercio local es la ESP-WROOM-32. Y según la página del fabricante, Espressif Systems (Espressif Systems, 2023), la describe como:

La FireBeetle Board-ESP32 integra el módulo ESP-WROOM-32 de doble núcleo de Espressif, que admite la comunicación inalámbrica de modo dual (Wi-Fi y Bluetooth). La corriente eléctrica es de solo 10Ma en el modo de suspensión profunda. El controlador principal admite dos fuentes de alimentación: USB y batería de litio externa de 3.7V. Tanto el USB como el DC externo pueden cargar la batería Lipo directamente. La placa FireBeetle-ESP32 tiene un diseño de hardware especial que es compatible con el IDE de Arduino.

Figura 31. Distribución de los pines del ESP32.



## 2.5 SENSORES

### 2.5.1 SENSOR DIGITAL DE TEMPERATURA DS18B20

El DS18B20 es un sensor digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse, este protocolo necesita solo un pin de datos para comunicarse y permite conectar más de un sensor en el mismo bus. El sensor DS18B20 es fabricado por Maxim Integrated, el encapsulado de fabrica es tipo TO-92 similar al empleado en transistores pequeños. La presentación comercial más utilizada por conveniencia y robustez es la del sensor dentro de un tubo de acero inoxidable resistente al agua.

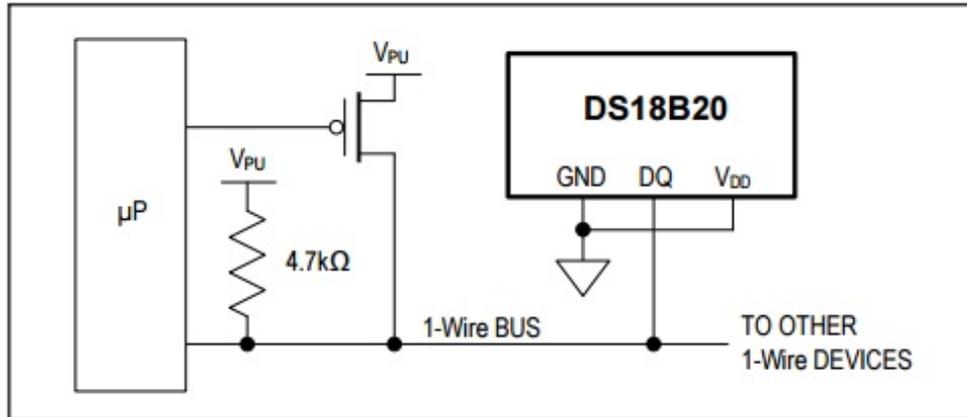
Con este sensor se puede medir temperatura desde los  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta los  $125^{\circ}\text{C}$  y con una resolución programable desde 9 bits hasta 12 bits. Cada sensor tiene una dirección única de 64bits establecida de fábrica, esta dirección sirve para identificar al dispositivo con el que se está comunicando, puesto que en un bus 1-wire pueden existir más de un dispositivo. El sensor tiene dos métodos de alimentación (naylorlampmechatronics, 2023):

### 2.5.2 ALIMENTACIÓN A TRAVÉS DEL PIN DE DATOS:

De esto forma, el sensor internamente obtiene energía del pin de datos cuando este se encuentra en un estado alto y almacena carga en un condensador para cuando la línea de datos esté en un estado bajo, a esta forma de obtener energía se le llama "Parasite Power" y

se usa cuando el sensor debe conectarse a grandes distancias o en donde el espacio es limitado, puesto que de esta forma no se necesita la línea de VDD. El diagrama para su conexión debe ser de la siguiente forma:

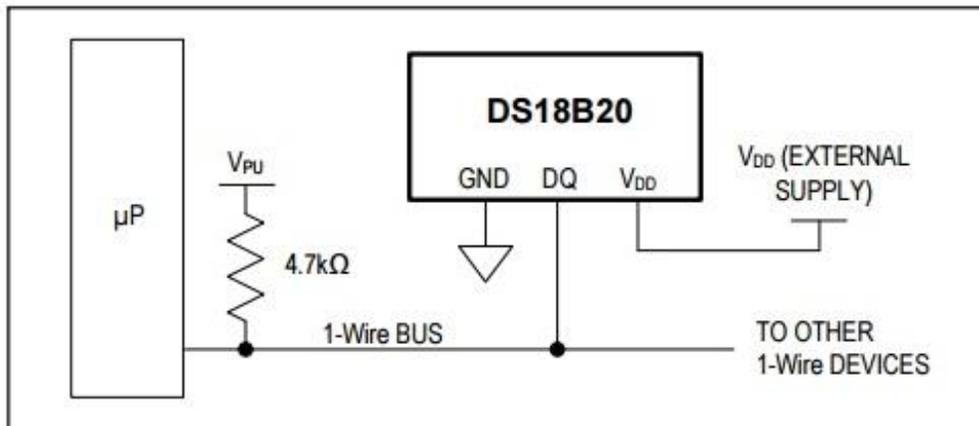
Figura 32. Alimentación del sensor de temperatura a través del pin de datos.



### 2.5.3 ALIMENTACIÓN USANDO UNA FUENTE EXTERNA:

De esta forma el sensor se alimenta a través del pin VDD, de esta forma el voltaje es estable e independiente del tráfico del bus 1-wire. Esta forma de alimentación es la más recomendada. El diagrama de conexión es de la siguiente forma:

Figura 33. Alimentación del sensor de temperatura usando fuente externa.



Para las librerías en el ESP 32, se deben instalar: **OneWire** y **DallasTemperature**, de acuerdo con las ilustraciones 23 y 24:

Figura 34. Librería OneWire.



Figura 35. Librería DallasTemperature



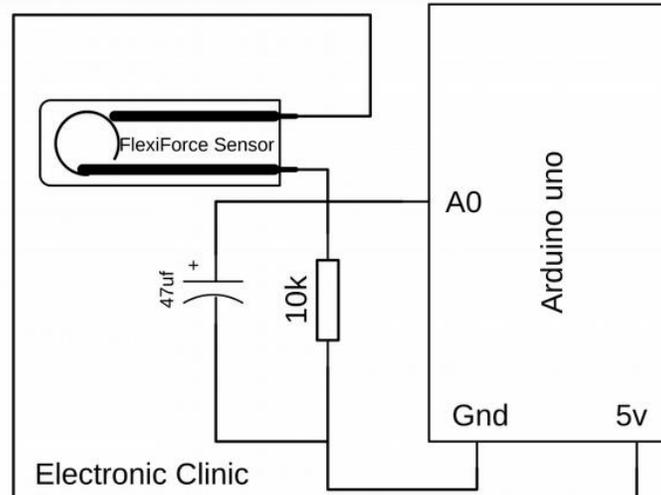
Ejemplo de la programación:

```
/*  
  Rui Santos  
  Complete project details at https://RandomNerdTutorials.com  
  */  
  
#include <OneWire.h>  
#include <DallasTemperature.h>  
  
// GPIO where the DS18B20 is connected to  
const int oneWireBus = 4;  
  
// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices  
OneWire oneWire(oneWireBus);  
  
// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature sensor  
DallasTemperature sensors(&oneWire);  
  
void setup() {  
  // Start the Serial Monitor  
  Serial.begin(115200);  
  // Start the DS18B20 sensor  
  sensors.begin();  
}  
  
void loop() {  
  sensors.requestTemperatures();  
  float 50emperature = sensors.getTempCByIndex(0);  
  float 50emperature = sensors.getTempFByIndex(0);  
  Serial.print(50emperature);  
  Serial.println("°C");  
  Serial.print(50emperature);  
  Serial.println("°F");  
  delay(5000);  
}
```

Fuente: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-ds18b20-temperature-arduino-ide/>  
(randomnerdtutorials;, 2023)

## 2.5.4 SENSOR DE CONTRACCIÓN ANAL.

Figura 36. Sensor o resistencia de detección de fuerza.



Para reconocer el nivel de excitación del semoviente, por recomendación de médicos veterinarios, el realiza contracción en el ano. Para ello se recurre al uso de un sensor o resistencia de detección de fuerza o FSR está hecho de un tipo de material cuya resistencia cambia cuando se aplica una fuerza, presión o tensión mecánica. Para nuestro caso Flexiforce, como se observa en la figura 33.

El sensor FlexiForce está conectado en serie con una resistencia de 10k, puede probar otras resistencias como 1 megaohmio o 3,3k si desea medir fuerza o presión elevadas. El sensor Flexiforce y la resistencia de 10k hacen un divisor de voltaje, de esta manera para diferentes fuerzas o valores de presión obtendremos diferentes voltajes.

Propiedades físicas:

- Espesor: 0,203 mm (0,008 pulg.)
- Longitud: 191 mm (7,5 pulg.)
- Ancho: 14 mm (0,55 pulg.)
- Área de detección: 9,53 mm (0,375 pulg.) de diámetro
- Conector: Pin cuadrado macho de 3 pines (el pin central está inactivo)
- Sustrato: Poliester
- Espaciado entre pasadores: 2,54 mm (0,1 pulg.)

Tabla 6. Rendimiento típico del sensor Flexiforce

	<b>Rendimiento típico</b>	<b>Condiciones de evaluación</b>
Linealidad (Error)	< ±3% de la escala completa	Línea dibujada de 0 a 50% de carga
Repetibilidad	< ±2,5 %	Sensor condicionado, 80 % de la fuerza total aplicada
Histéresis	< 4,5 % de la escala completa	Sensor condicionado, 80 % de la fuerza total aplicada
Deriva	< 5% por escala de tiempo logarítmica	Carga constante de 111 N (25 lb)
Tiempo de respuesta	< 5 µs	Carga de impacto, salida registrada en el osciloscopio
Temperatura de funcionamiento	-40°C – 60°C (-40°F – 140°F)	Fuentes de calor por convección y conducción
Criterios de aceptación	±40% de variación de sensor a sensor	Salida considerada a la presión de prueba
Durabilidad	≥ 3 millones de actuaciones	Carga perpendicular, temperatura ambiente, 22 N (5 lb)
Sensibilidad a la temperatura	0,36%/°C (± 0,2%/°F)	Calor conductivo

Una aplicación típica:

```

/*
 * This ESP32 code is created by esp32io.com
 *
 * This ESP32 code is released in the public domain
 *
 * For more detail (instruction and wiring diagram), visit
 https://esp32io.com/tutorials/esp32-force-sensor
 */
#define FORCE_SENSOR_PIN 36 // ESP32 pin GPIO36 (ADC0): the FSR and 10K
pull-down are connected to A0
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int analogReading = analogRead(FORCE_SENSOR_PIN);

  Serial.print("The force sensor value = ");
  Serial.print(analogReading); // print the raw analog reading

  if (analogReading < 10) // from 0 to 9
    Serial.println(" -> no pressure");
  else if (analogReading < 200) // from 10 to 199
    Serial.println(" -> light touch");
  else if (analogReading < 500) // from 200 to 499
    Serial.println(" -> light squeeze");
  else if (analogReading < 800) // from 500 to 799
    Serial.println(" -> medium squeeze");
}

```

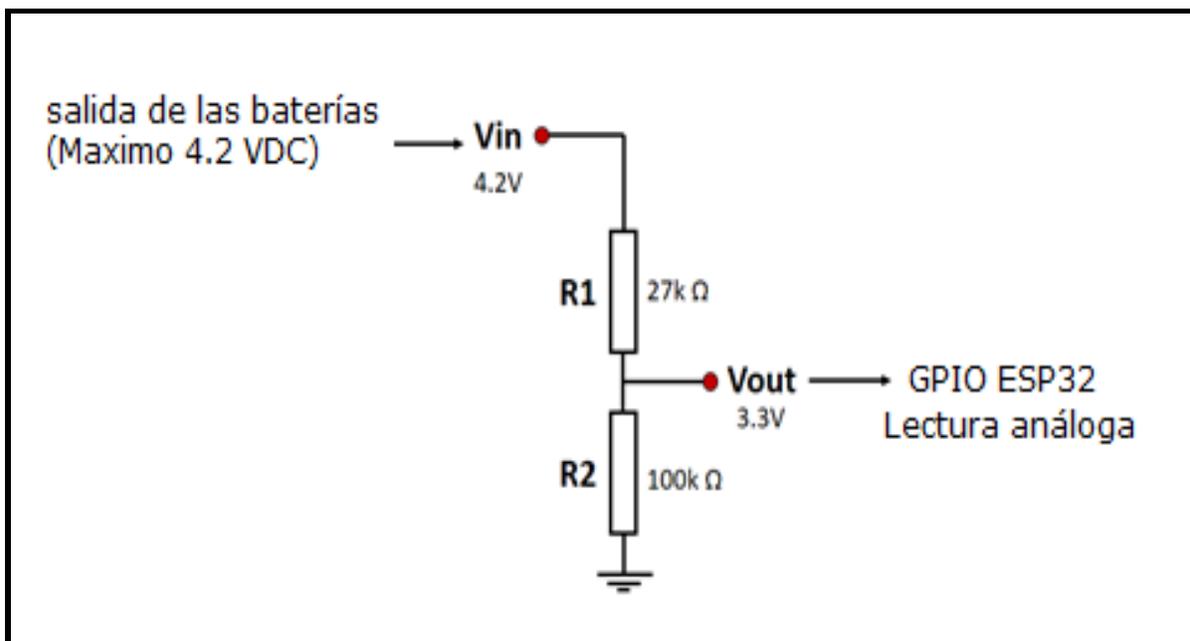
```
else // from 800 to 1023
  Serial.println(" -> big squeeze");

delay(1000);
}
```

## 2.5.5 SENSOR DEL ESTADO DE LA BATERÍA

Para el monitoreo del estado del banco de baterías, se ha establecido un circuito divisor de tensión que permite, obtener permanentemente una medida de voltaje, este valor será leído por el microcontrolador a través del puerto análogo, y esta información se procesa para generar el nivel y la alarma correspondiente. El circuito se muestra en la ilustración 11.

Figura 37. Circuito de monitoreo del estado de las baterías.



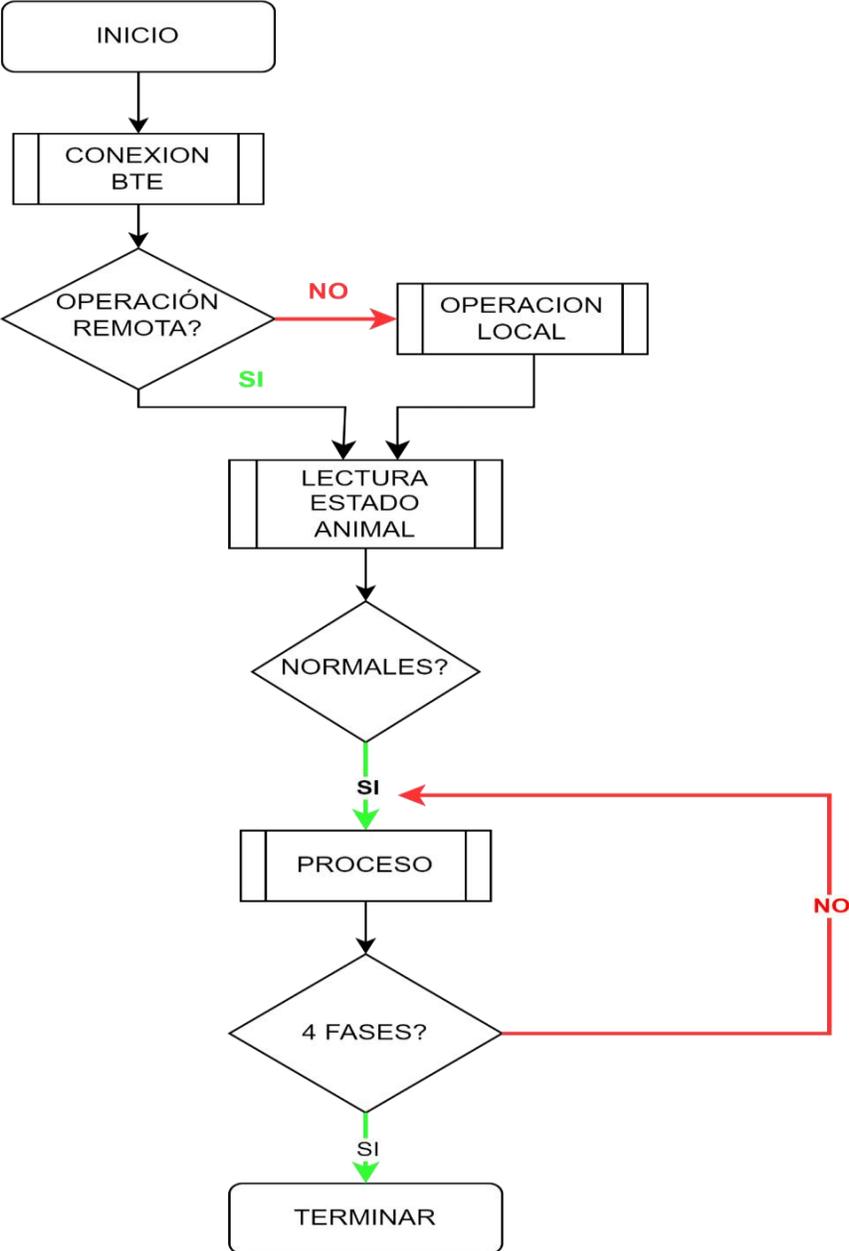
Fuente: Elaboración propia.

### 3. HARDWARE Y SOFTWARE NECESARIO PARA EL ELECTROEYACULADOR, ASEGURANDO LA EFICACIA Y SEGURIDAD DEL DISPOSITIVO PARA SU USO EN ANIMALES BOVINOS, OVINOS Y CAPRINOS

#### 3.1 DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL

Con la claridad de los elementos y puertos necesarios, se procede a la planeación del programa que estará en el sistema. En la ilustración, se plantea la distribución de los bloques del programa de control.

Figura 38. Bloques del programa de control.



Fuente: Elaboración propia.

Cada bloque se desarrollan sus propias funciones:

### 3.1.1 BLOQUE DE SENSORES

#### 3.1.1.1 TEMPERATURA

El sensor DS18B20 entrega directamente el valor de la temperatura en grados Celsius o en grados Fahrenheit. Para este sistema se toma en grados Celsius. De acuerdo con el portal Contexto Ganadero, la temperatura se puede medir en grandes animales, como los bovinos, mediante un termómetro veterinario, vía rectal. La temperatura rectal promedio es de 38.5°C, oscilando en un rango entre 38,2 y 39,5° C, según el clima y las condiciones ambientales. Cuando hay una elevación de temperatura se denomina hipertermia, mientras que si esta disminuye se llama hipotermia, lo que da indicios de que el animal se encuentra enfermo. (Contexto ganadero, 2023). Se establece el rango de condición normal del bovino entre los 38,2 y 39,5° C para el proceso de control del sistema.

#### 3.1.1.2 CONTRACCIÓN ANAL.

El sensor Flexi Force, los datos que entregan corresponden al valor de voltaje como si fuese un divisor de voltaje. Luego, se debe realizar la respectiva interpretación de estas lecturas para definir el instante en el cual se inicia el proceso de excitación y el proceso de eyaculación.

Con la utilización del electroeyaculador, como método para la recolección de semen, la eyaculación es un proceso bifásico, primero ocurre la emisión y continúa con la erección y la eyaculación propiamente dicha. Cuando se produce la estimulación adecuada, esta viaja vía nervio pudendo interno hacia los centros lumbosacros de la columna vertebral, desde allí parte la respuesta vía nervios simpáticos lumbares (nervio erigente del plexus hipogástrico), lo cual estimula la contracción de la musculatura lisa que recubre la próstata, glándulas vesiculares y conductos deferentes, asegurando la progresión de la masa espermática hacia la uretra pélvica (emisión) (Morillo, Salazar, & Castillo, 2012).

Por otro parte, la respuesta nerviosa viaja vía nervios parasimpático para provocar la contracción de la musculatura estriada del tracto uretral (músculo isquiocavernoso, bulbo esponjoso y uretral), lo cual que resulta en la erección del pene y la eyaculación propiamente dicha. En este aparte, no se tienen datos reales de estas presiones, sino las recomendaciones de médicos veterinarios consultados (Morillo, Salazar, & Castillo, 2012), donde se deduce que:

Tabla 7. Niveles de respuesta nerviosa

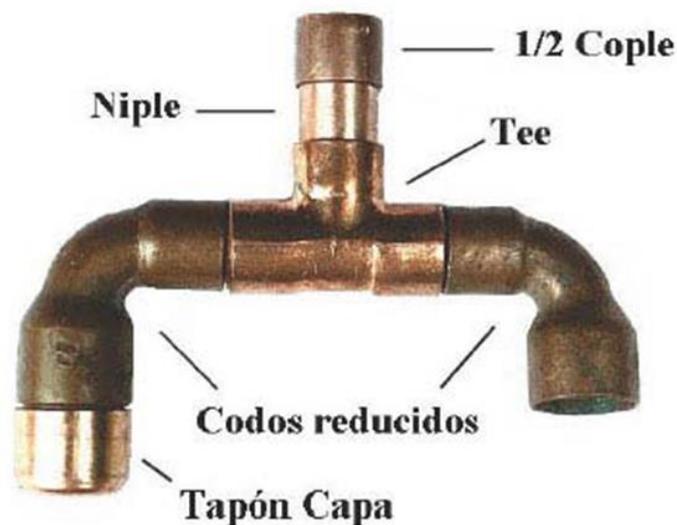
<b>PRESIÓN (Estado)</b>	<b>NIVEL</b>
Ninguna presión, estado de relajación	$\leq 10$
Presión mínima, por instalación del electrodo	$10 \leq P < 200$
Presión ligera, inicio del proceso de excitación	$200 \leq P < 500$
Presión media, grado de excitación medio	$500 \leq P < 800$
Presión alta, grado de excitación alta, eyaculación	$800 \leq P < 1024$

### 3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSDUCTOR

Para el diseño y construcción del transductor, que fundamentalmente es el elemento que sirve de enlace entre la fuente generadora de los impulsos eléctricos y el animal. Se tomó en consideración que los componentes de que está constituido sean de fácil adquisición.

En el diseño se tomó en consideración la estructura anatómica del recto del bovino, ovino y caprino, determinando las especificaciones proporcionales en cuanto a longitud, diámetro y disposición de los electrodos del transductor, para ello se consultó con literatura afín, en donde se menciona cual es la mejor respuesta en cuanto a la disposición y número de los electrodos. (Yamasaki Maza, y otros, 2005).

Figura 39. Mango del transductor.



Fuente (Yamasaki Maza, y otros, 2005)

Los elementos del soporte o mango del transductor de acuerdo con Yamasaki et al (2005) se construyen siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Con el tramo de tubo de cobre de 3/8", se cortarán tres pequeños segmentos o niples dos de 2 cm. c/u. y el tercero de 2.5 cm. Estos servirán para unir la Tee, los codos reducidos y el tapón capa. Para ello se usa el corta tubo, se sueldan y alinean todas las piezas. (Ver Figura 39)
2. Con el corta tubo se corta un segmento de 2 cm de tubo de cobre de 1/2", que servirá para unir un extremo de uno de los codos reducidos con el tapón capa de 1/2". Con el otro extremo del codo reducido se unirá la tuerca cónica, que será modificada, para recibir el conector macho de micrófono. (Ver Figura 39)
3. El cople de 3/8" se cortará por la mitad de su longitud y se unirá a un extremo del pequeño segmento de 2.5 cm. Los puntos antes mencionados forman lo que estructuralmente será el mango del transductor. (Ver Figura 39).
4. La tuerca cónica de 1/2" para gas se tiene que modificar para que pueda acoplarse por un extremo al codo reducido con salida de 1/2" y por el otro al conector macho de micrófono; para lo cual se tiene que ajustar el diámetro de la rosca que tiene con el diámetro exterior del codo reducido. Para modificar la tuerca cónica es necesario que mediante un torno se

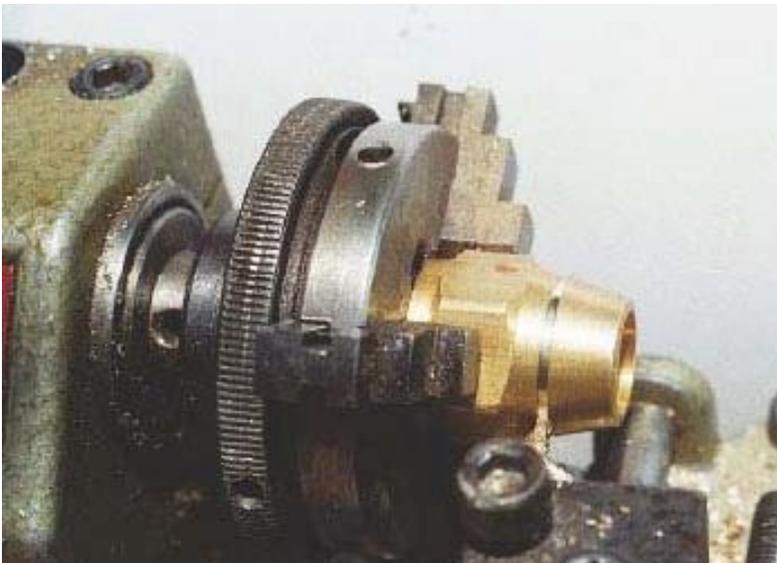
solicite que le retiren la rosca interior hasta que el diámetro permita acoplarse con el codo reducido por el diámetro de  $\frac{1}{2}$ ", por la parte cónica se recortará hasta que el diámetro interno permita acoplar el conector hembra de micrófono (Ver Figura 40 y 41).

Figura 40. Eliminación de la rosca de la tuerca cónica



Fuente. (Yamasaki Maza, y otros, 2005)

Figura 41. Corte de tuerca cónica a la medida del conector



Fuente. (Yamasaki Maza, y otros, 2005)

5. En una de las caras de la tuerca cónica se perfora un orificio con una broca de  $\frac{1}{8}$ " y se hace la rosca con el machuelo de  $\frac{5}{32}$ " NC este orificio permitirá sujetar con el prisionero Allen de  $\frac{5}{32}$ "x $\frac{1}{4}$ " el conector macho al mango.
6. Al conector macho se deberá eliminar la rosca para que pueda entrar en la tuerca cónica previamente maquinada como se menciona anteriormente (Figura 43), la roca se puede eliminar con un torno o limándola observe en la Figura 43 el conector con y sin rosca que se ensambla en la tuerca cónica que ya tiene habilitado el prisionero Allen, el empleo de la tuerca cónica modificada permite dar una gran fortaleza mecánica al mango del transductor puesto que la pared el codo reducido es muy delgada como para ser roscable y sujete adecuadamente el conector macho. (ver Figura 43).

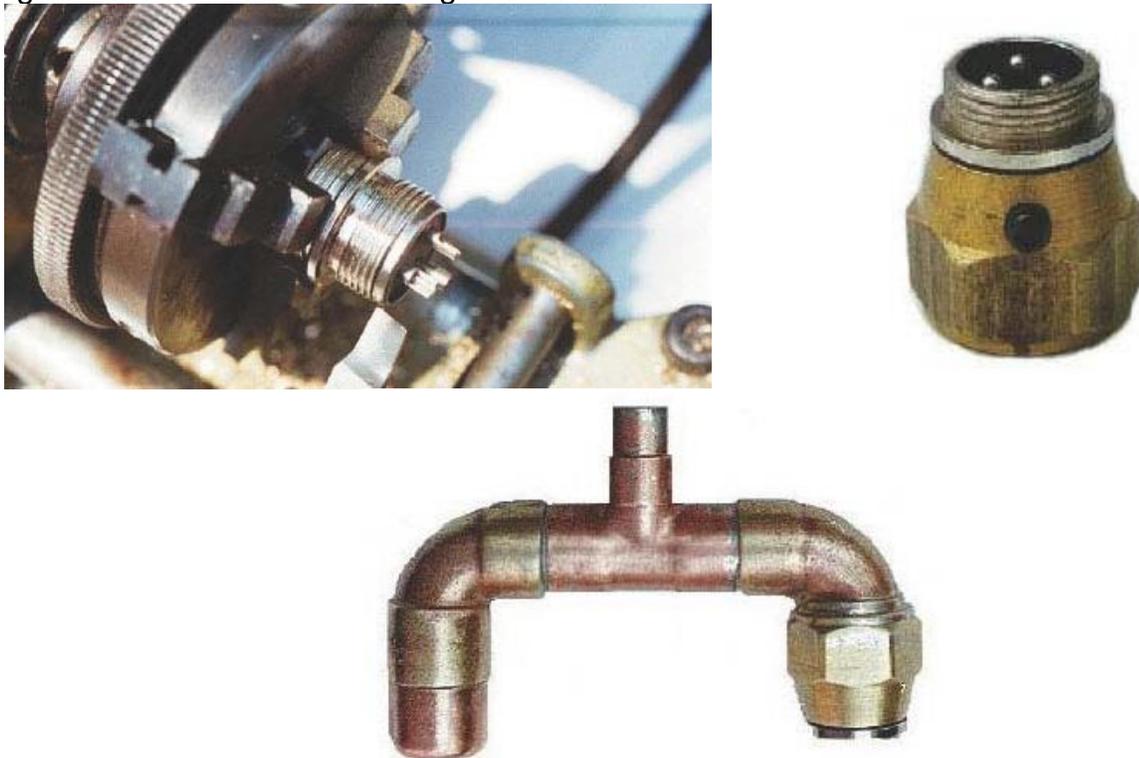
Figura 42. Conector macho y tuerca cónica para su ensamble.



Fuente. (Yamasaki Maza, y otros, 2005)

7. Una vez eliminada la rosca del conector y habilitada la turca cónica se procede a probar su ensamble el cual deberá quedar como se muestra en la Figura 43.
8. Con el paso anterior se concluye la terminación del mango del transductor al cual se deberá de soldar la turca cónica al codo deducido, quedando como se muestra de la Figura 41.

Figura 43. Terminación del mango del transductor.



Fuente. (Yamasaki Maza, y otros, 2005)

Tabla 8. Materiales para el soporte o mango del transductor

Descripción	Unidad	Cantidad
Tubo de PVC de 13mm de diámetro nominal para roscar	cm	30
Tubo de cobre para instalación de agua de 3/8" de diámetro.	Cm	10
Tubo de cobre para instalación de agua de 1/2" de diámetro.	Cm	10
Te de cobre de 3/8	Unidad	1
Codos reducidos de cobre de 1/2" a 3/8" x 90°.	Unidad	2
tapón capa cobre de 1/2"	Unidad	1
tuerca cónica de 1/2" para gas	Unidad	1
cople de cobre de 3/8"	Unidad	1
metro de soldadura para tubo de cobre	Unidad	1
bote pequeño de pasta para soldar cobre.	Unidad	1
lija para tubo de cobre	metro	1
prisioneros Allen de 5/32" x1/4"	Unidad	2
prisionero Allen de 5/32 x 1/8"	Unidad	1
varilla de soldadura de bronce de 1/8" o alambre en cobre # 8.	Unidad	1
barra de Nylon o Acrílico de 1"	cm	15
pegamento tipo epóxico de secado normal	Unidad	1
conectores (hembra y macho) para micrófono de radio de banda civil de 5 patas	Juego	1
cable No.22 rojo y negro	metro	1
soldadura de estaño 0.8	metro	5

La construcción del cuerpo del transductor deberá cumplir con la anatomía de cada semoviente. Para el caso del bovino, se tiene:

1. El cuerpo se construye sobre un tubo de nylon o acrílico, el cual es acondicionado en la parte libre en forma de cono. Y en la otra parte, se debe realizar el torneado para adaptar el soporte con el respectivo cableado.
2. Los electrodos son trozos de 7,5 cm de la varilla de soldadura de bronce de 1/8", los cuales se acondicionan de acuerdo con la Figura 46, y se sueldan los cables que van al conector.
3. En la parte inferior del cuerpo se ha acondicionado para ensamblar el medidor de temperatura corporal y la galga de medición de presión.

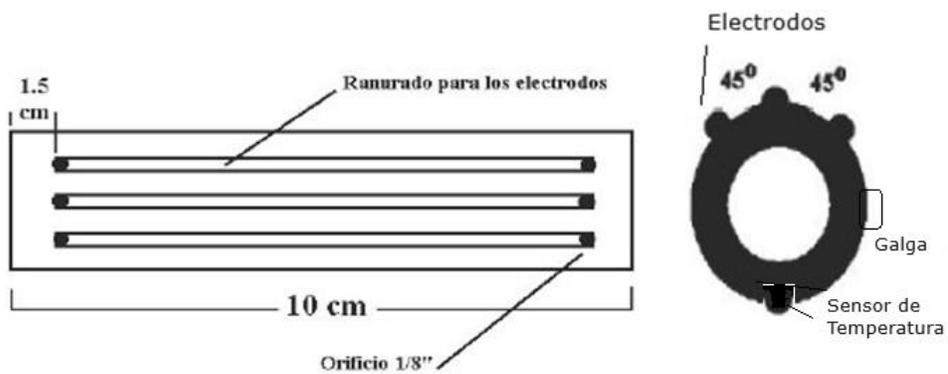
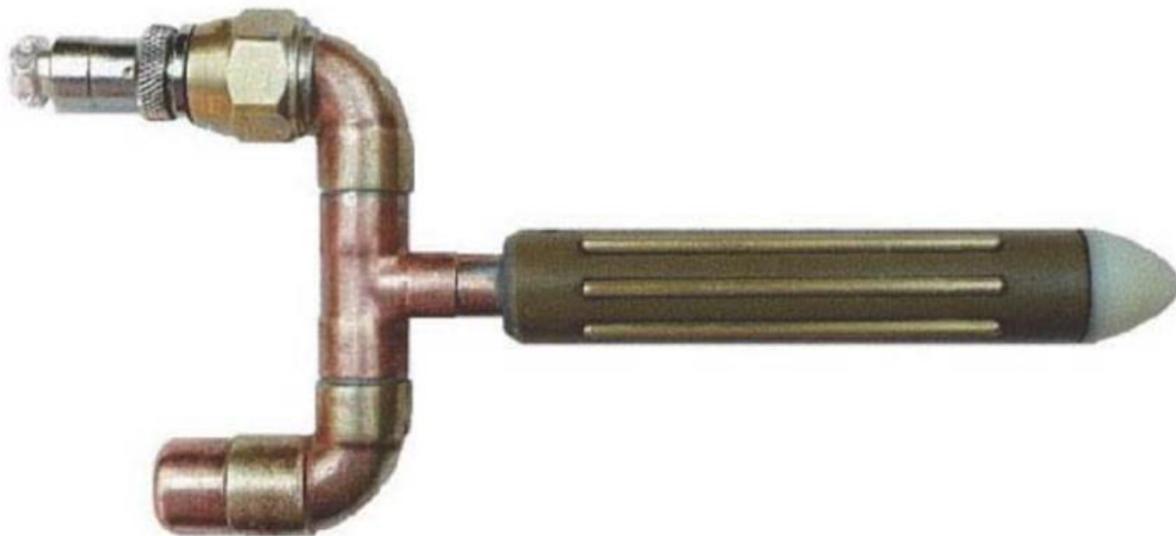
Figura 44. Adecuación del cuerpo de transductor.



Figura 45. Ejemplo del acabado final del cuerpo del transductor.



Figura 46. Ejemplo del Transductor final.



Fuente. (Yamasaki Maza, y otros, 2005)

#### 4. SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS PARA EL MANEJO Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA POR EL DISPOSITIVO DURANTE SU USO.

En el desarrollo de las pruebas con el módulo ESP32, y modificando el ancho del pulso de salida de la señal PWM, con una amplitud de voltaje de 3,3 VDC y una frecuencia de operación de 100 Hz., se obtienen los resultados de las siguientes ilustraciones:

Figura 47. Pruebas desde el ESP32 y la conexión Bluetooth para 25%

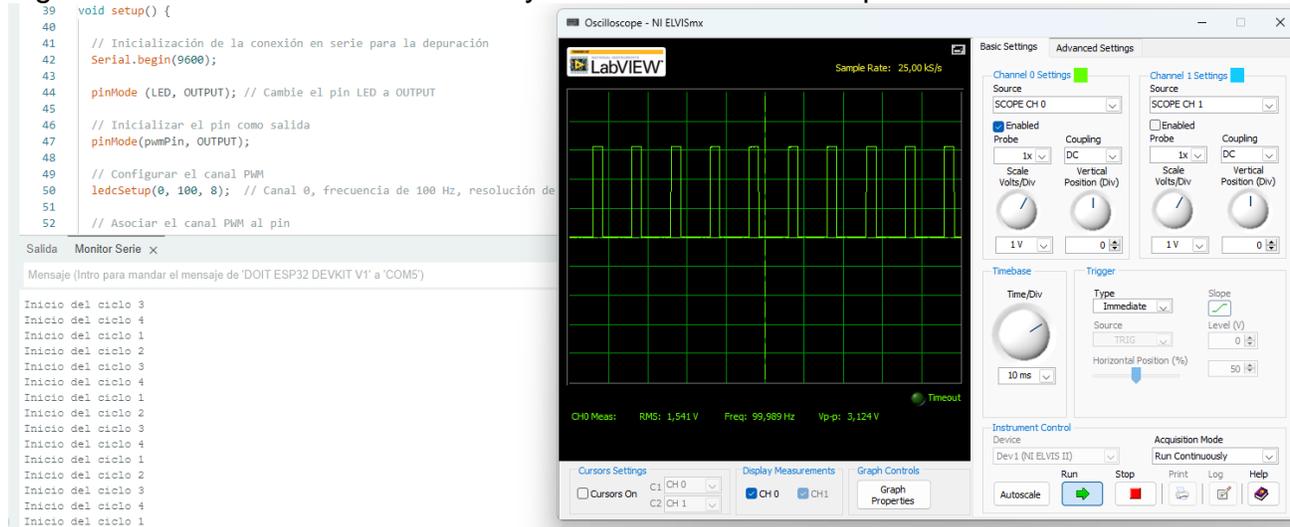


Figura 48. Pruebas desde el ESP32 y la conexión Bluetooth para 50%

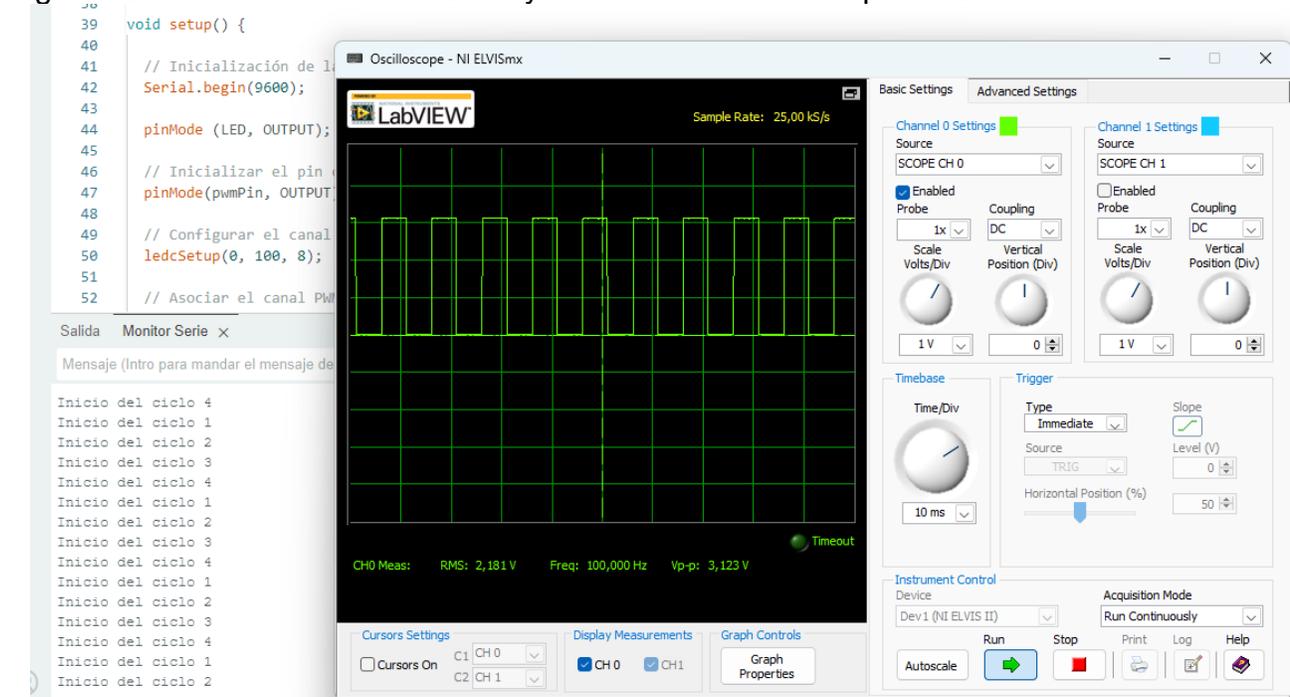


Figura 49. Pruebas desde el ESP32 y la conexión Bluetooth para 75%

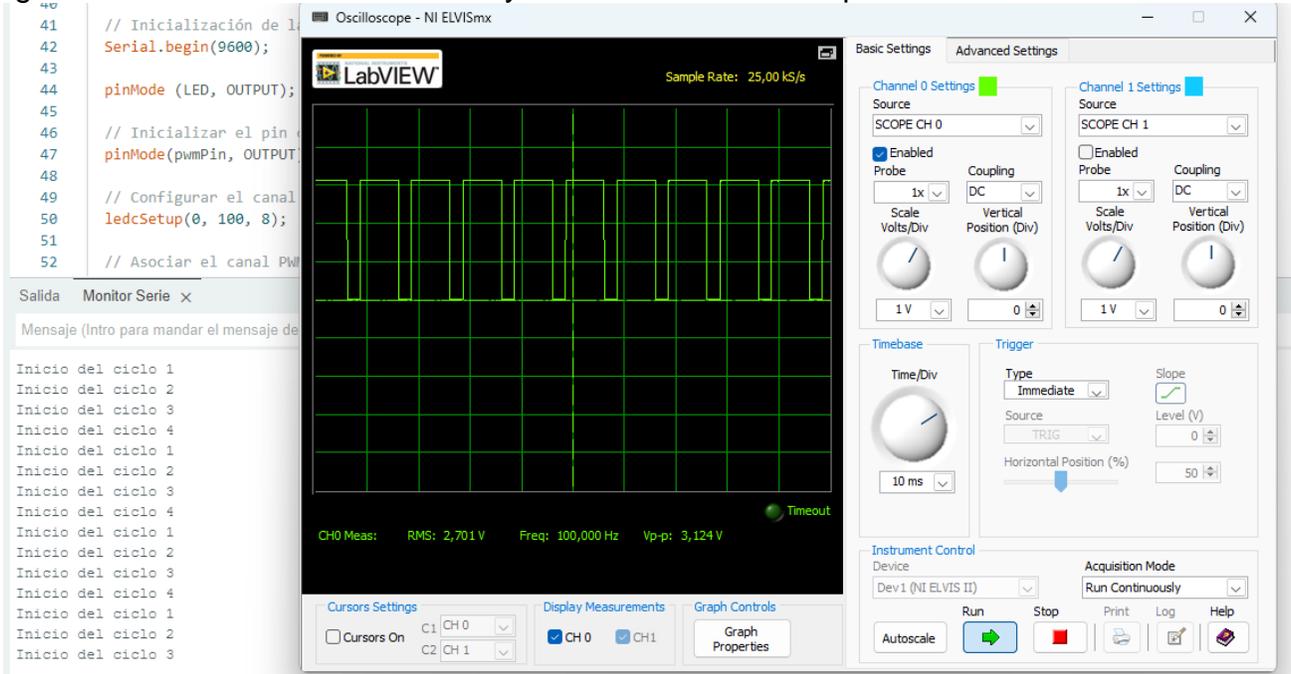
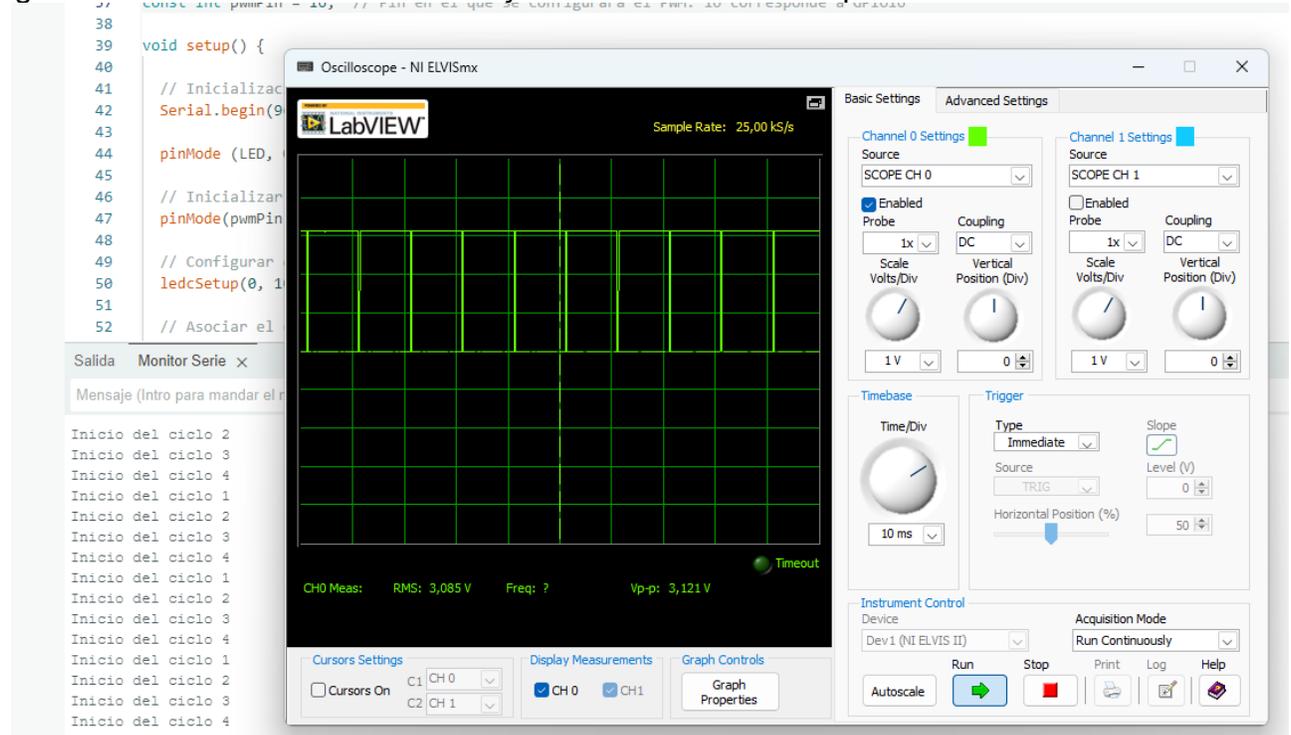


Figura 50. Pruebas desde el ESP32 y la conexión Bluetooth para 98%



## 4.1 DISEÑO DE LA APP

La aplicación se desarrolla en Android Studio Hedgehog | 2023.1.1 Patch 2, se construye para conexión remota con firebase y comunicación bluetooth. Se aplicaron buenas prácticas teniendo en cuenta los principios SOLID.

En primer lugar, se creó un proyecto con Firebase mostrado en la Figura 51, luego se escoge que el proyecto sea para trabajar con Android (Figura 52).

Figura 8. Creacion Proyecto Firebase

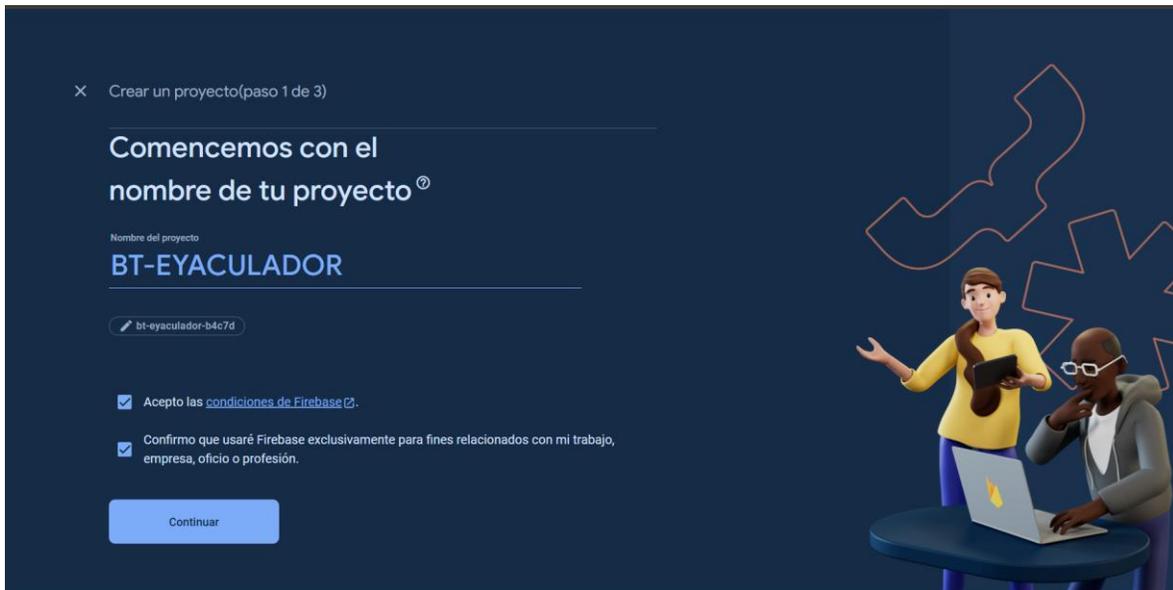
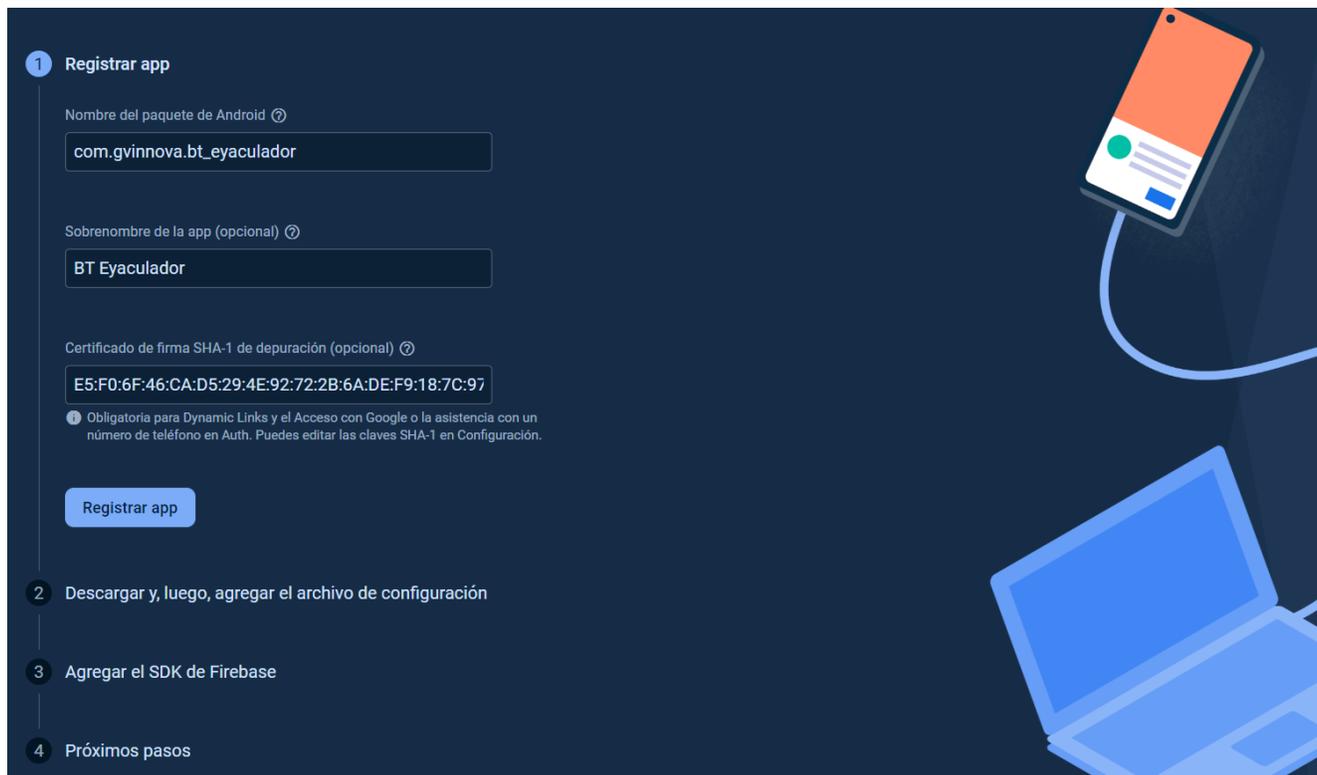


Figura 52. Firebase para Android



Se obtiene la firma de SHA-1 para el tema de administrativo y de acceso a servicios Google solo para la app registrada.

Figura 53. Firma de Seguridad



Al finalizar el registro del App, se genera un archivo de configuraciones que debe importarse en la carpeta principal del proyecto (Figura 54). Seguido a esto, se habilita el ingreso de usuarios mediante correo electrónico (Figura 55).

Figura 54. Archivo de Configuraciones Firebase

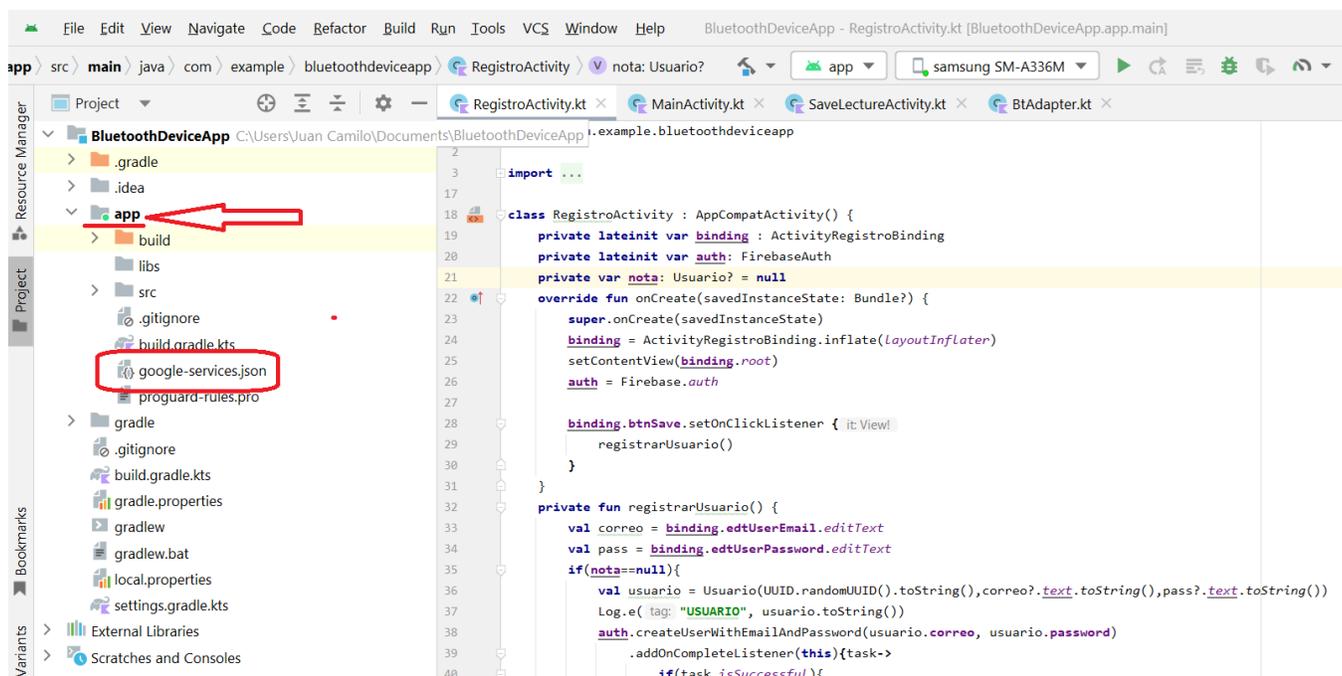
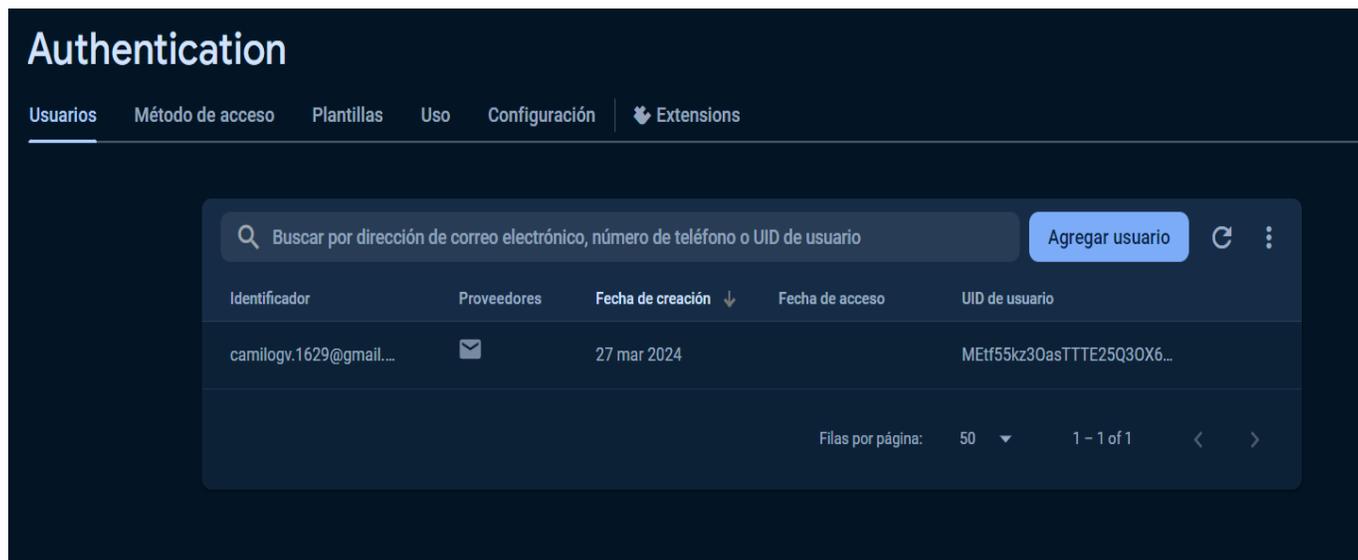
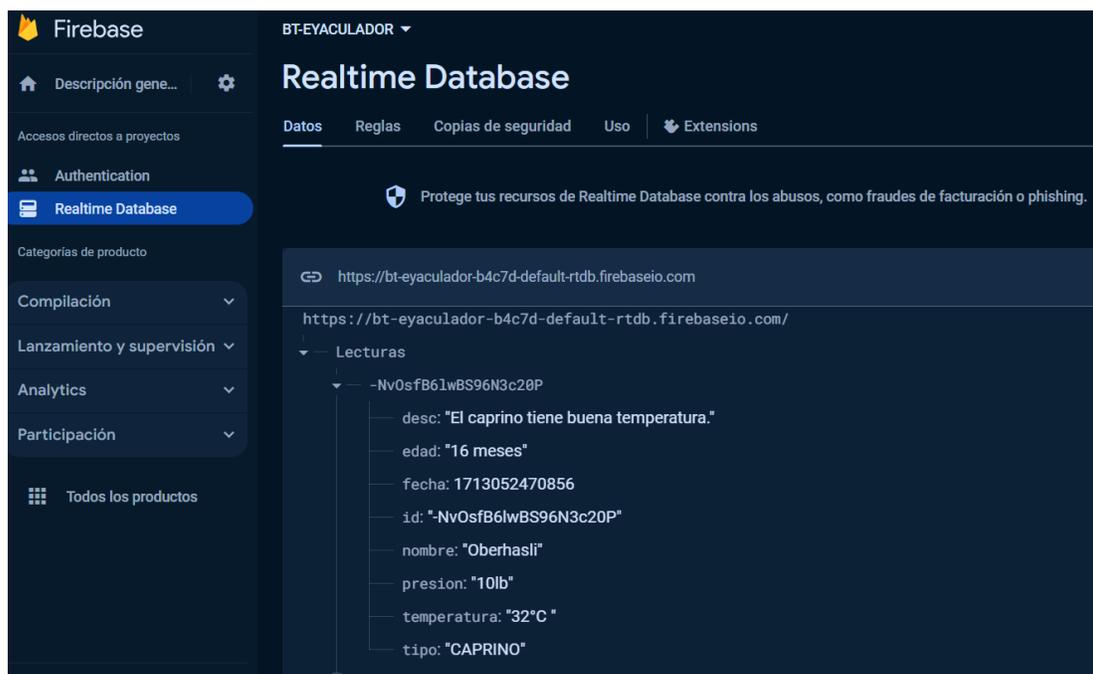


Figura 55. Panel de Autenticación por Correo



Como último paso, se crea una colección de LECTURAS en el RealTime Database de Firebase que permitirá al usuario crear la estructura que van a tener cada uno de los datos que guste almacenar.

Figura 56. Realtime Database



En la Figura 56, se observa un ejemplo de cómo se debe estructurar cada una de las lecturas que se toman cada vez que se utilice el electroeyaculador.

## 5. CONCLUSIONES

Se validó el diseño del prototipo electroeyaculador con pruebas de laboratorio, cumpliéndose los estándares necesarios para la estimulación de especies bovinos y caprinos. A su vez, la incorporación de la tecnología IoT permitió administrar la funcionalidad del dispositivo a distancia.

La interoperabilidad de la comunicación Bluetooth entre el dispositivo móvil y el módulo IoT, presentó un desempeño óptimo durante el proceso de navegación, adquisición de datos y envío de instrucciones al prototipo, evitándose el uso de pulsadores adicionales para la funcionalidad y por ende configurar más puertos del microcontrolador.

El enlace con la nube de Firebase para guardar información básica desde el dispositivo móvil resultó ser una solución temporal y satisfactoria, sin mencionar la sinergia que posee la aplicación nativa (Android) con firebase para el tema de sincronización de datos en segundo plano.

## **6. RECOMENDACIONES**

Utilizar un sensor cardiaco sería relevante para futuras investigaciones, permitiendo la vigilancia del nivel de estrés que presente el semoviente antes y durante el proceso de extracción del semen.

Se sugiere que como procedimiento previo al uso del Electroeyaculador, se incluya un medidor de estado del ánimo de los animales, para conocer la disposición que presenten los animales objetos de estudio, identificándose los animales aptos y animales no aptos para el uso del Electroeyaculador.

## BIBLIOGRAFÍA

Artesyn Technologies. (2023, agosto 6). *Artesyn Extends Industrial DC-DC Converter Range with New Six and Eight Watt Models in DIP-16 Package*. Retrieved from AFC5-F SERIES Dual output: [www.artesyn.com](http://www.artesyn.com)

Bopape, Malebogo Audrey; Lehloenya, Khoboso Christina; Chokoe, Tlou Caswell; Nedambal, Tshimangadzo Lucky. Comparison of Electro Ejaculator and Artificial Vagina on Semen Collection from South African Indigenous Goat Following Assessment by Computer Aided Sperm Analysis. En: *Open Journal of Animal Sciences*. Vol. 5, No (2015); 210-218.

Choque-López, José; Bueno, Jose; López, Maria; Valerio, Daniel. Protocolo de recolección de semen de razas bovinas y caprinas tropicales en el Centro Especializado en Biotecnología Reproductiva. En: *Revista APF*. Vol. 4, No. 1 (2015); No se especifican las páginas.

Contexto ganadero. (2023, septiembre 14). *contextoganadero*. Retrieved from Ganaderia sostenible - vigile las constantes fisiologicas en bovinos: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/vigile-las-constantas-fisiologicas-en-bovinos>

Espressif. (2023, 07 06). *Espressif*. Retrieved from <https://www.espressif.com/>

Espressif Systems. (2023, 07 6). *Espressif* . Retrieved from Los productos basados en Espressif de DFRobot fomentan la comunidad de aprendizaje de IoT: <https://www.espressif.com/en/news/dfrobot%E2%80%99s-espressif-based-products-foster-iot-learning-community>

GÓMEZ CORONADO, Carlos A. "EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE UN ELECTROEYACULADOR EXPERIMENTAL COMPARADO A UNO DE MARCA COMERCIAL EN OVINOS". Quito, 2013. Trabajo de grado (Médico Veterinario y Zootecnista). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

GUTIÉRREZ SÁNCHEZ, Carlos Antonio. "Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos". Cd. Universitaria, D. F., 2014. Tesis (Ingeniero Eléctrico y Electrónico). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería Eléctrica.

GUTIÉRREZ, E., QUIROGA, G. Desarrollo de un equipo de electro eyaculación simple y de bajo costo en carneros. En: *Spermova*. Vol. 6, No. 2 (2016); 133-136.

MOLINA MOSQUERA, Julián; POLO CAQUIMBO, Carolina; TOVAR CLAVIJO, Mayra Alejandra. Diseño e implementación de un prototipo de electroeyaculador escalable para uso en más de una especie. En: *Revista Ingeniería y Región*. No. 8, (2011); No se especifican las páginas.

National Semiconductor. (2005). *LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual* . New York: National Semiconductor. *naylampmechatronics*. (2023, 8 2). *naylampmechatronics*. Retrieved

from Tutorial sensor digital de temperatura DS18B20:  
[https://naylampmechatronics.com/blog/46\\_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html](https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html)

Núñez, L., Hernández, N., & Lago, M. (2018). *ROL DE LA EYACULACIÓN EN LA RESPUESTA DE ESTRÉS A LA ELECTROEYACULACIÓN EN OVINOS*. Montevideo: Universidad de la República.

PALMER, Colin W. Welfare aspects of theriogenology: Investigating alternatives to electroejaculation of bulls. En: *Theriogenology*. Vol. 64, (2005); 469–479.

Pineda, M., & Dooley, M. (2023, 06 12). *Avances en ciencias veterinarias*. Retrieved from Métodos para la recolección de semen en el gato doméstico: <https://avancesveterinaria.uchile.cl/index.php/ACV/article/view/4622>

Randomnerdtutorials;. (2023, octubre 25). *Randomnerdtutorials*. Retrieved from ESP32 DS18B20 Temperature Sensor with Arduino IDE (Single, Multiple, Web Server): <https://randomnerdtutorials.com/esp32-ds18b20-temperature-arduino-ide/>

Semiconductor, O. (2014). *MC7800, MC7800A, MC7800AE, NCV7800, 1.0 A Positive Voltage Regulators*. Denver, Colorado: On Semiconductor.

Sundararaman, M., Kalatharan, J., & Edwin, M. (2007). Attempts to Achieve Semen Collections from Incapacitated Boer Bucks by Electro-ejaculation. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 244- 246.

YAMASAKI MAZA, Alberto; PEDRAZA VILLAGÓMEZ, Pastor; PERALTA LAILSON, Mc. Marisela; YONG ANGEL, Gilberto; ROTHSCHUH VILLANUEVA, Jorge E.; YAMASAKI MAZA, D.I Leonardo. Diseño y construcción de electroeyaculador para ovinos y caprinos. En: REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria. Vol. VI, No. 8, (2005); 1-23.

## ANEXOS

### Anexo 1. Programación de la unidad de control ESP32

```
/*
*****
*
* SISTEMA DE ELECTROEYACULACIÓN
*
*****
* FileName:      BT_EYACULADOR.ino
* Processor:     ESP-12E Module
* Biblioteca:    esp32@2.0.11
* Compiler:     Arduino IDE 2.2.1
* Author:       JUAN CAMILO GUALTEROS VIDAL - USCO
* Description:   Sistema de obtención de semen para bovinos
*****
* Rev.    Date      Comment
* v1.00   13/10/2023  Creación y pruebas.
*****/

/* CONEXIONES
  LCD 2X16 - I2C
  GND - GND
  VCC - 3.3v/Vin
  SDA - D22 (GPIO 21)
  SCL - D21 (GPIO 22)
  SENSORES:
  Temperatura (DS18B20) - D2 (GPIO 2)
  Flexi Force - D34 (GPIO 34)
  Estado de la batería - D32 (GPIO 32)

  LED
  Alarma - D33 (GPIO 33)
  Operación - D23 (GPIO 23)

  Pin  Nombre de la función
  VIN  La entrada del regulador de tensión positiva de 3,3V. Tensión de alimentación en
el rango de 4 a 12V.
  3.3V Salida del regulador de voltaje. También puedes suministrar 3.3V a este pin si
tienes uno.
  GND   Pines de alimentación a tierra (Negativo).
  ENABLE Este es el pin de reset. Conectando este pin a GND se reiniciará el ESP32.
  Este pin es normalmente pull-up. El botón EN lo pondrá en BAJO cuando lo pulse.

*/
```

```

#include <WiFi.h>
#include <WiFiAP.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <WiFiGeneric.h>
#include <WiFiMulti.h>
#include <WiFiSTA.h>
#include <WiFiScan.h>
#include <WiFiServer.h>
#include <WiFiType.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <BluetoothSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <OneWire.h>

#define LED_OPERACION 23      // LED OPERACION
#define LED_ALARMA 33        // LED ALARMA
#define FORCE_SENSOR_PIN 34   // ESP32 pin GPIO34 (ADC0): el FSR y el pulldown de 10K
                              // están conectados a A0
#define ESTADO_BATERIA 32    // LED estado de la batería

const int PWMPin = 16;      // Pin en el que se configurará el PWM. 16 corresponde a
                              // GPIO16 (RX2)
OneWire ourWire(4);         // Se establece el pin 35 como bus OneWire para
                              // sensor temperatura
DallasTemperature sensors(&ourWire); // Se declara una variable u objeto para nuestro
                              // sensor
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Objeto LCD

BluetoothSerial BT;        // Objeto Bluetooth
#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth no está activado. Por favor, ejecute `make menuconfig` para
    activarlo.
#endif

String clientName = "ESP32_CONTROL";
bool connected;
char buffer[15];           // Selecciona un tamaño suficientemente grande para contener el
                              // valor formateado
float temp;
int dutyCycle = 0;

float voltajeR14;
void setup() {
    // Inicialización de la conexión en serie para la depuración
    Serial.begin(115200);

```

```

sensors.begin(); //Inicializa sensores
pinMode(LED_OPERACION, OUTPUT); // Inicializar el pin LED_OPERACION a OUTPUT
pinMode(LED_ALARMA, OUTPUT); // Inicializar el pin LED_ALARMA a OUTPUT
pinMode(ESTADO_BATERIA, INPUT); // Inicializar el pin LED_ESTADO_BATERIA a OUTPUT
pinMode(PWMPin, OUTPUT); // Inicializar el pin PWM como salida
lcd.init(), lcd.backlight(), lcd.clear();
// Configurar el canal PWM
ledcSetup(0, 100, 8); // Canal 0, frecuencia de 100 Hz, resolución de 8 bits
// Asociar el canal PWM al pin
ledcAttachPin(PWMPin, 0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" BT-EYACULADOR");
delay(1000);
lcd.clear();
// Nombre de su dispositivo Bluetooth y en modo esclavo
BT.begin("ESP32_Control");
Serial.println("El dispositivo Bluetooth está listo para emparejarse");
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("BT listo");
delay(1000);
lcd.clear();
}
void loop() {
  /* Recien inicia el programa se mide temperatura del semoviente para
  determinar su estado de salud Y luego inician ciclos de estímulo eléctrico*/
  temp = obtenerTemperatura(); //obtenemos temperatura con DS18B20
  Serial.print("Temperatura = ");
  Serial.println(temp);
  //obtenerCargaBateria();
  lcd.setCursor(0,0), lcd.print("Temperatura:");
  lcd.setCursor(0, 1), lcd.print(String(temp)+(char)223+"C");
  if (BT.available()) {
    String tipo = BT.readString();
    while(tipo == ""){
      tipo=BT.readString();
      delay(500);
    }
    if (tipo == "T") {
      tempBovino(temp);
      generarEstimulos(500, 5000);
    } else if (tipo == "C") {
      tempCaprino(temp);
      generarEstimulos(300, 3000);
    }
  }
}
}

```

```

void obtenerCargaBateria(){
    int valorD23 = analogRead(ESTADO_BATERIA);
    voltajeR14 = (valorD23* 2.53) /2822.0;
    int porcentajeBateria = (voltajeR14/2.53)*100;
    // Imprimir el porcentaje de batería
    Serial.print("Battery Percentage: ");
    Serial.print(porcentajeBateria);
    Serial.println("%");
    delay(1000);
}
float obtenerTemperatura() {
    // Obtener el valor de temperatura con el sensor DS18B20
    sensors.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la temperatura
    float tempC= sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C
    return tempC; // retorna el valor medido
}
float obtenerPresion() {
    // Obtener presión anal de semoviente con flexi-force.
    int fsrADC = analogRead(FORCE_SENSOR_PIN);
    float presionLib = map(fsrADC, 0, 4095, 25, 0); // Mapeo los valores de presion a
una resolución de 12 bits
    return presionLib; //retorna el valor medido
}
void tempBovino(float t) {
    if (t < 38.2)
        BT.print("Bovino enfermo");
    else if (t > 39.5)
        BT.print("Bovino enfermo");
    else
        BT.print("Bovino saludable");
    lcd.setCursor(0, 0), lcd.print("Temperatura");
    lcd.setCursor(0, 1), lcd.print("Bovino Medida!");
}
void tempCaprino(float t) {
    if (t < 38.2)
        BT.print("Caprino enfermo");
    else if (t > 39.5)
        BT.print("Caprino enfermo");
    else
        BT.print("Caprino saludable");
    lcd.setCursor(0, 0), lcd.print("Temperatura");
    lcd.setCursor(0, 1), lcd.print("Caprino Medida!");
}
void generarEstimulos(int cant, int descanso) {
    int rep = 0; //variable de repeticiones
    String incoming = BT.readString();
    while(incoming==""){

```

```

    incoming = BT.readString();
    delay(700);
}
if (incoming == "A") { // A inicia el proceso para estímulos
    lcd.clear();
    float presion = 0.0;
    float porcentaje = 0.0;
    char message[30]; // Definir un array lo suficientemente grande para mandar datos
por bluetooth
    // Proceso de envío de señal
    digitalWrite(LED_OPERACION, HIGH); // LED_OPERACION Encendido
    for (rep = 1; rep <= 4; rep++){
        dutyCycle = 0;
        porcentaje = 0.0;
        Serial.print("Inicio de repeticion" + rep);
        // iniciar los ciclos de trabajo en 24% (62), 49% (124), 74% (186) y 98% (248)
para controlar la intensidad del PWM
        for (int j = 0; j <= 3; j++) {
            presion = obtenerPresion();
            if (presion < 5){
                Serial.println(" -> no hay presión");
                digitalWrite(LED_ALARMA, LOW);
            } // De 0 a 5 libras
            else if (presion < 10){
                Serial.println(" -> presión mínima");
                digitalWrite(LED_ALARMA, HIGH);
            } // De 5 a 10 libras
            else if (presion < 15){
                Serial.println(" -> presión ligera");
                digitalWrite(LED_ALARMA, HIGH);
            } // De 10 a 15 libras
            else if (presion <= 20){
                Serial.println(" -> presión media");
                digitalWrite(LED_ALARMA, LOW);
            } // De 15 a 20 libras
            else{
                Serial.println(" -> alta presión");
                digitalWrite(LED_ALARMA, HIGH);
            } // Mayor de 20 libras
            Serial.print("Inicio del ciclo: ");
            Serial.println(j+1);
            dutyCycle = dutyCycle + 62;
            porcentaje = (float(dutyCycle) / 255.0) * 100.0;
            lcd.setCursor(0, 0), lcd.print("R:" + String(rep));
            lcd.setCursor(5, 0), lcd.print("ciclo:" + String(porcentaje));
            lcd.setCursor(0, 1), lcd.print("presion:" + String(presion) + "lb");
            Serial.print("Porcentaje del ciclo ");

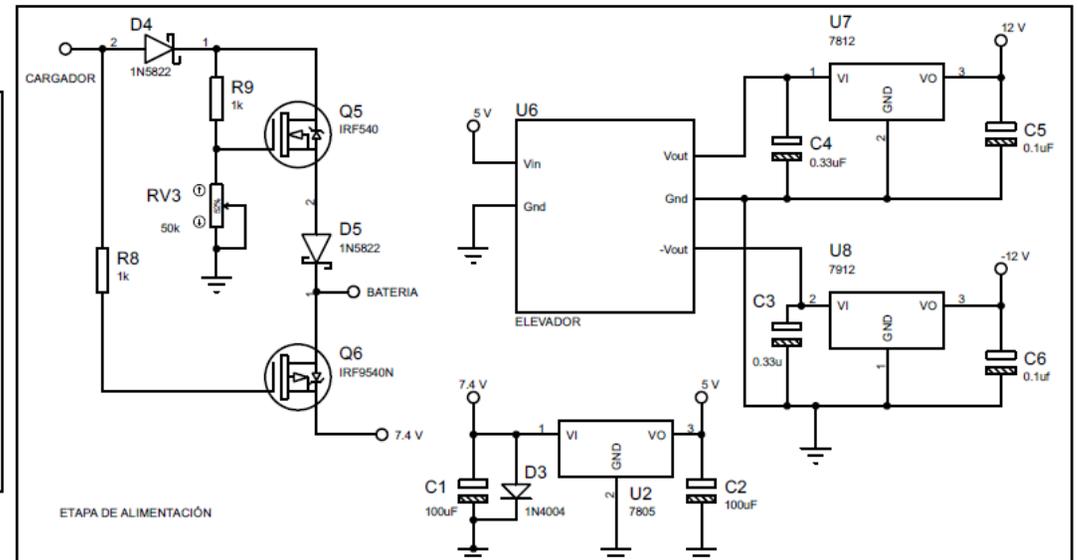
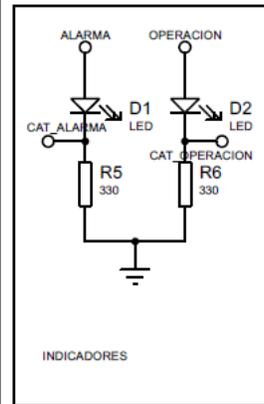
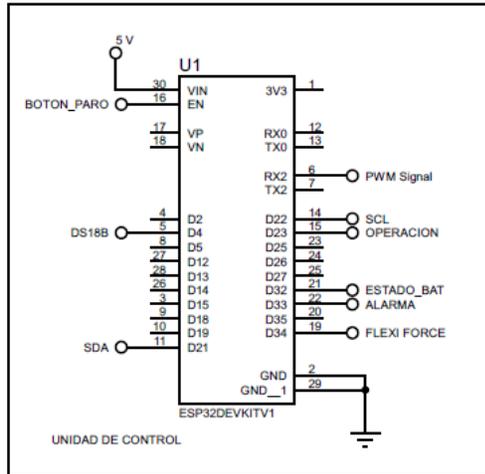
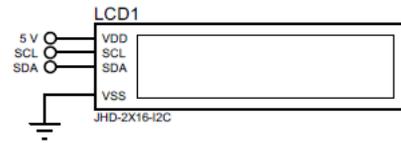
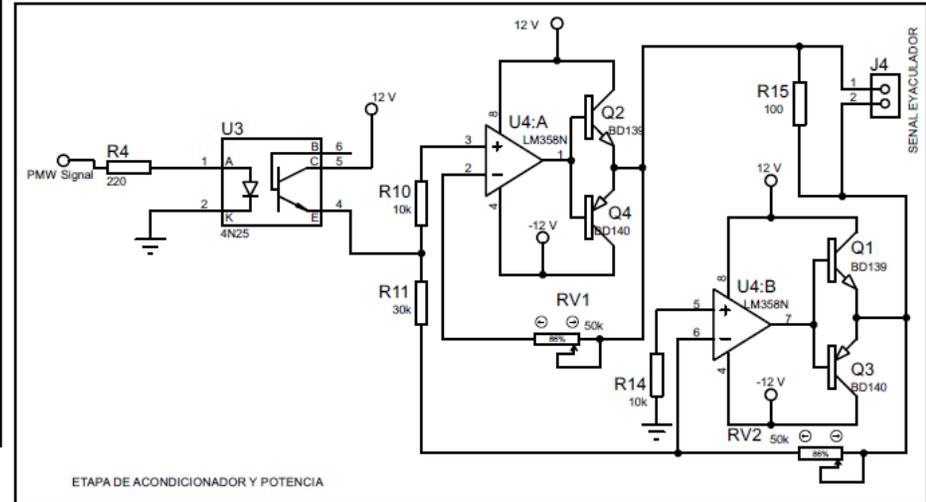
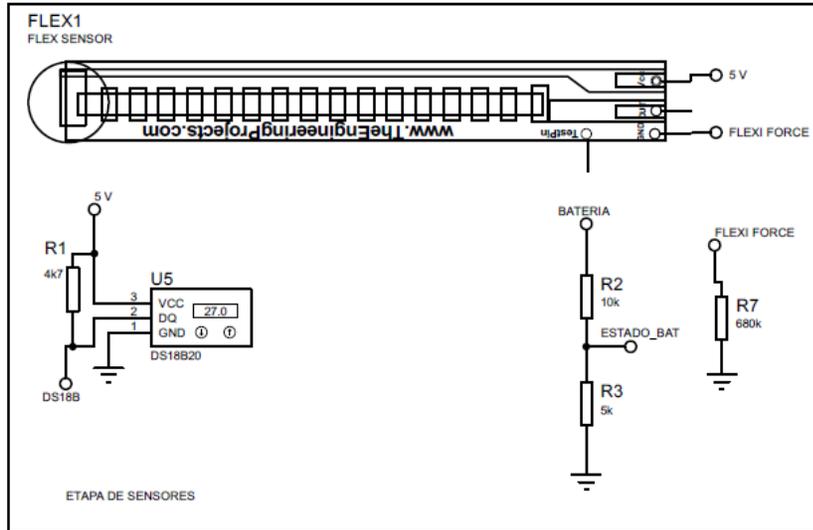
```

```

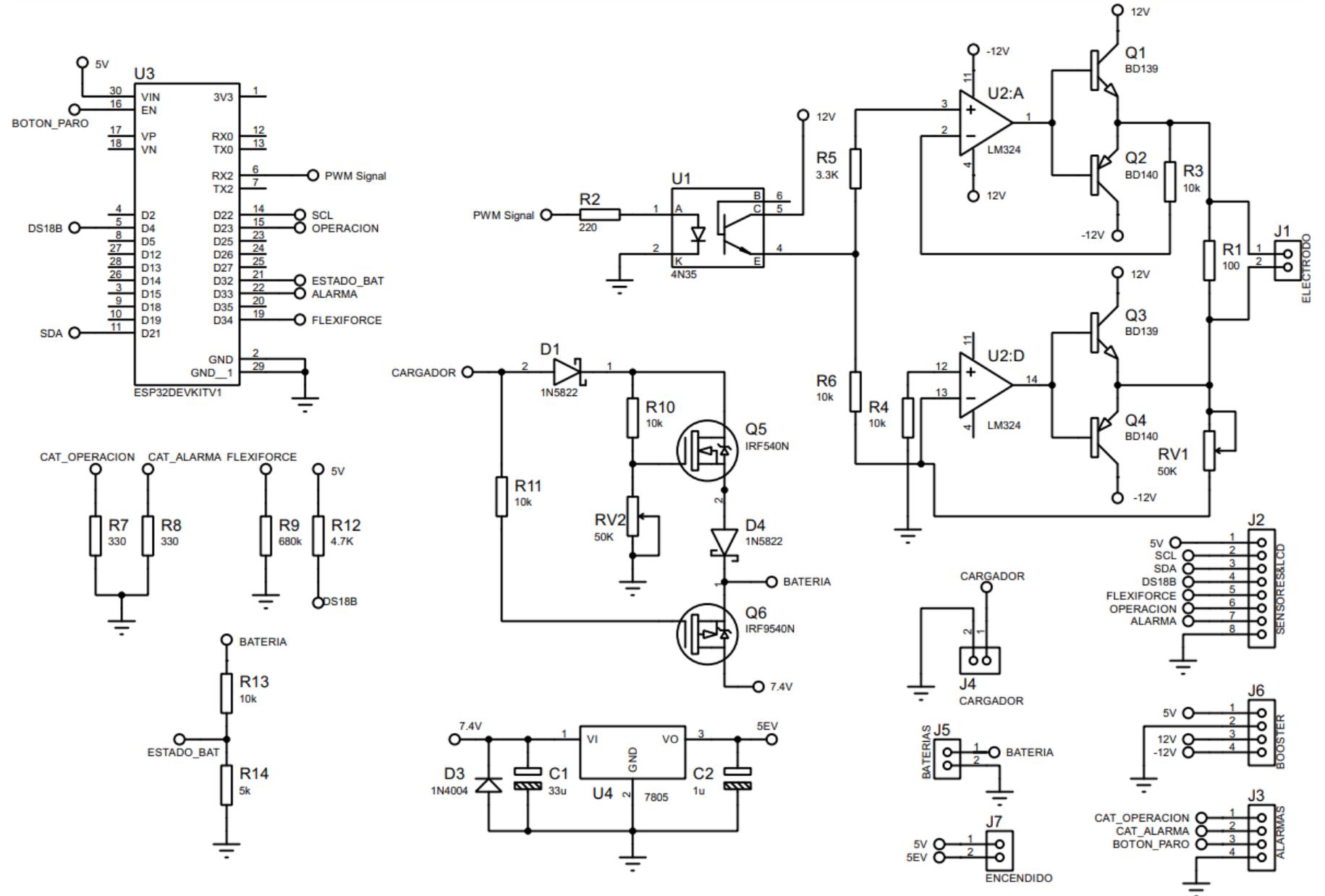
Serial.println(porcentaje);
Serial.print("Presion: ");
Serial.println(presion);
for (int i = 0; i <= cant; i++) { // ciclo para estímulos bovino-caprino
    ledcWrite(0, dutyCycle);
    sprintf(message, "%d,%f,%d,%f,%f", dutyCycle, temp, rep, presion,
porcentaje);
    delay(10); // Esperar un tiempo antes de cambiar el ciclo de trabajo
}
BT.print(message); // envío de datos por bluetooth
// Escribir el ciclo de trabajo
delay(descanso); // esperar 5 segundos antes del siguiente ciclo de trabajo
}
}
digitalWrite(LED_OPERACION, LOW); // le apaga el LED_OPERACION cuando no hay más
estímulos
} else if (incoming == "R") { // R reinicia el proceso
    lcd.clear();
    Serial.println("Reiniciando en 1 segundos"), delay(1000); /*ESP32 Restablecer
después de cada 1 segundo*/
    esp_restart(); //reinicia el módulo
}
String reiniciar = BT.readString();
while(reiniciar == ""){
    reiniciar = BT.readString();
    delay(700);
}
if (reiniciar == "R") { // R reinicia el proceso
    lcd.clear();
    delay(1000);
    BT.flush();
    esp_restart();
}
}
}

```

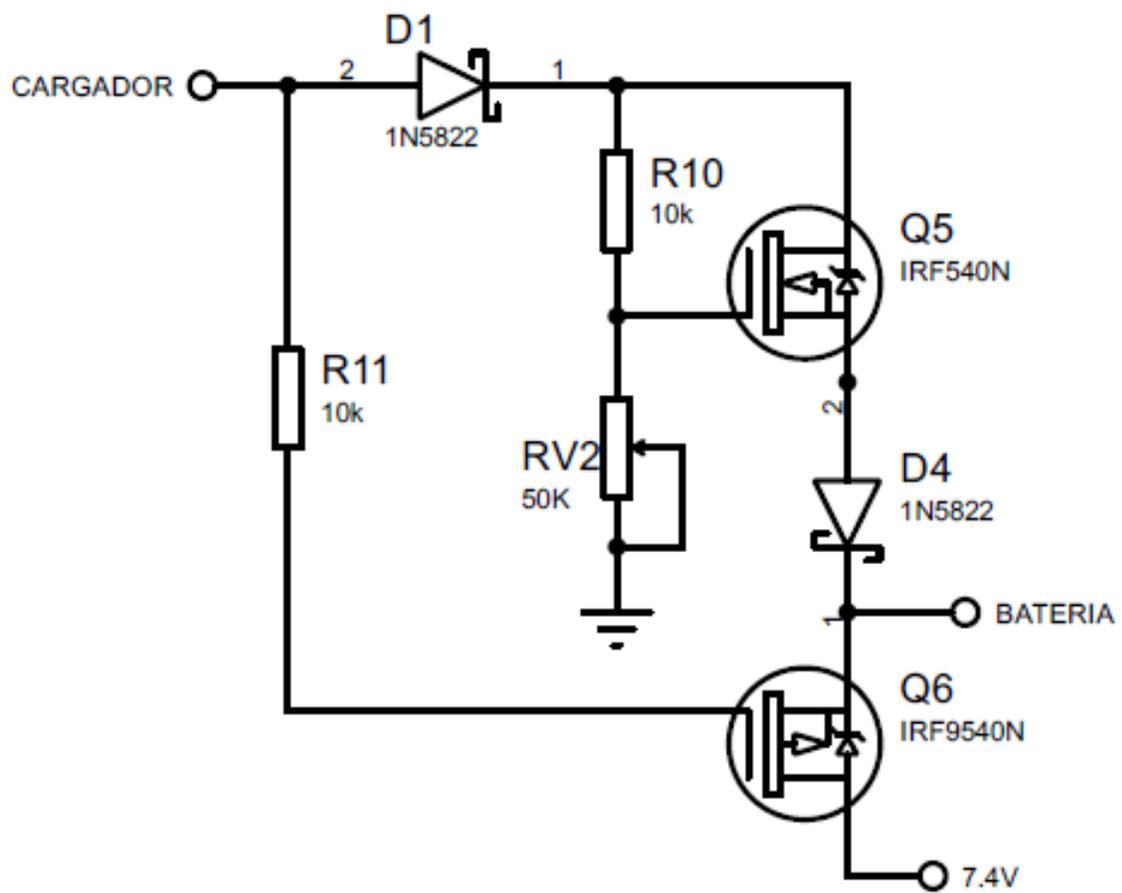
## Anexo 2. Plano general



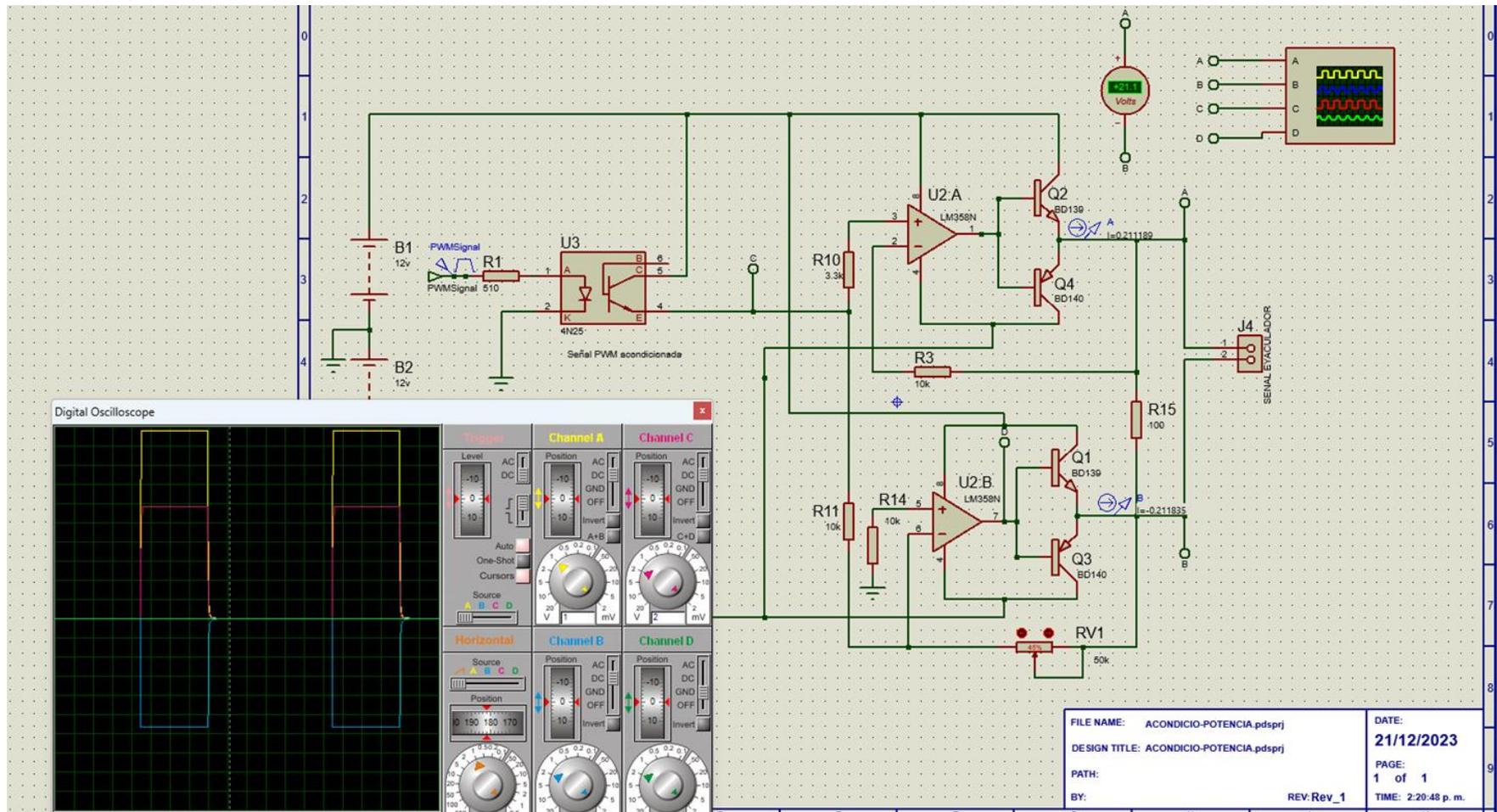
### Anexo 3. Construcción del PCB



#### Anexo 4. Cargador de Baterías

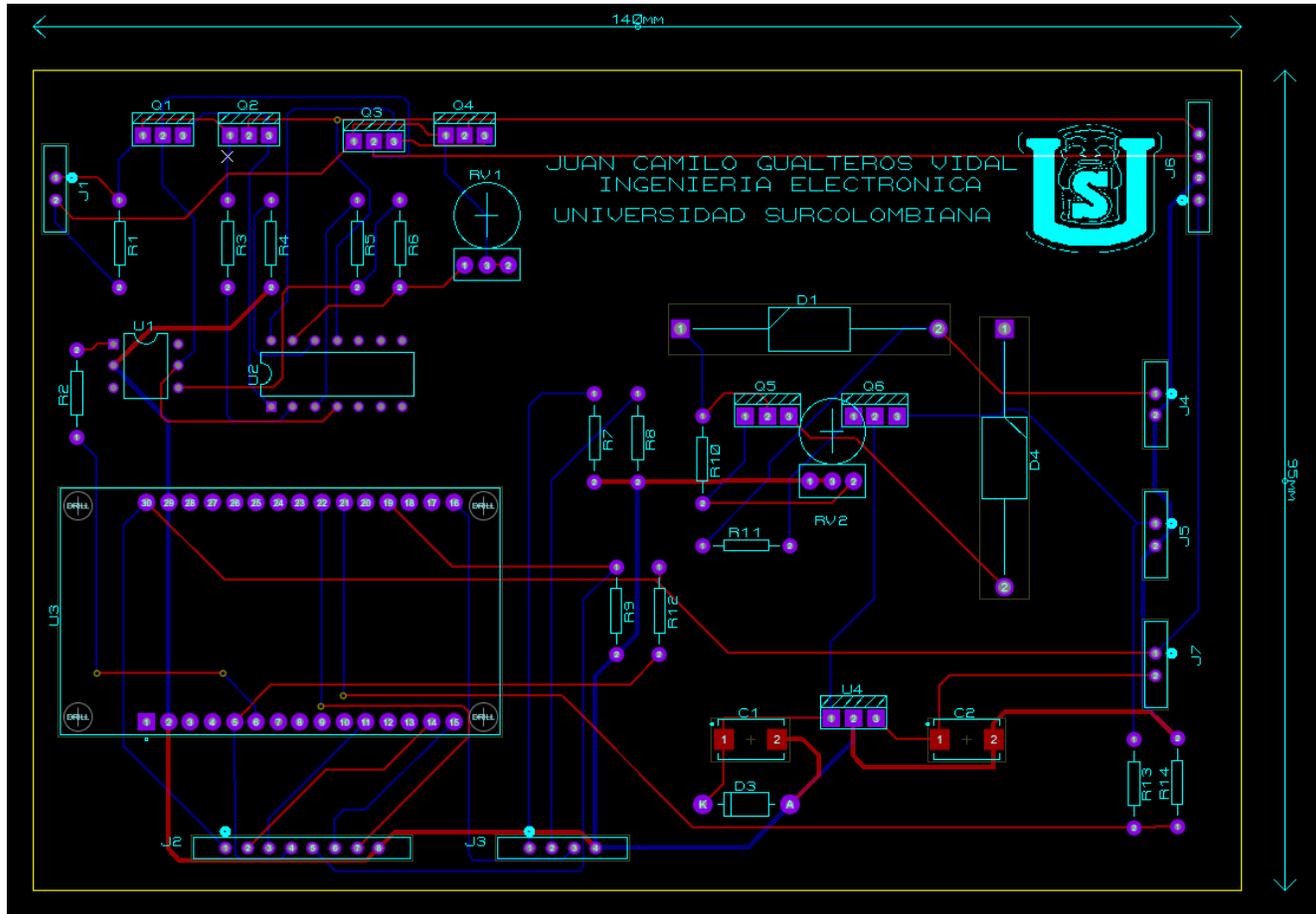


## Anexo 5. Simulaciones

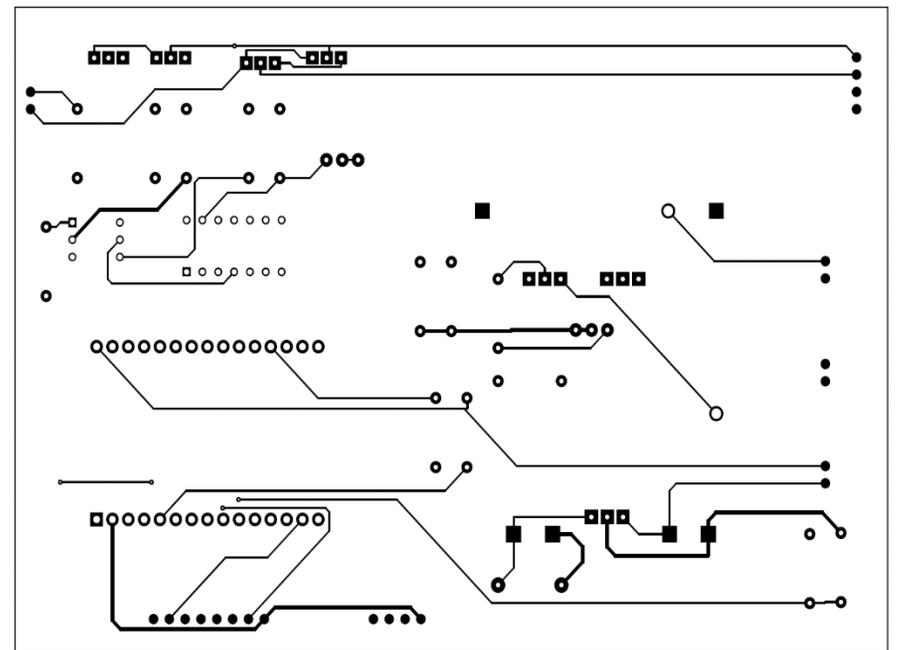
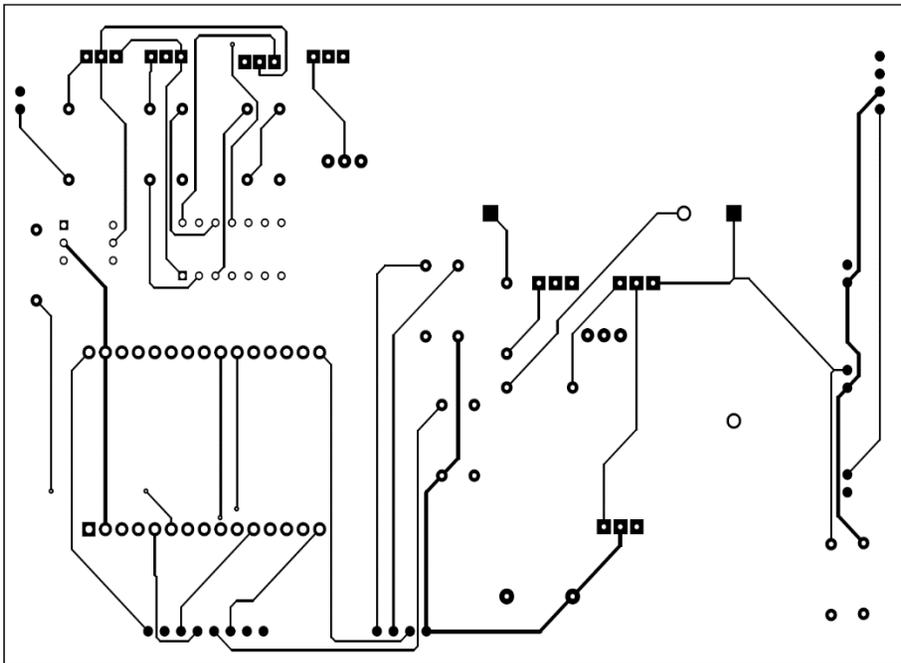


A 21,1 VRMS tomado entre los dos electrodos, la corriente por cada electrodo es de 0,2111 Amperios.

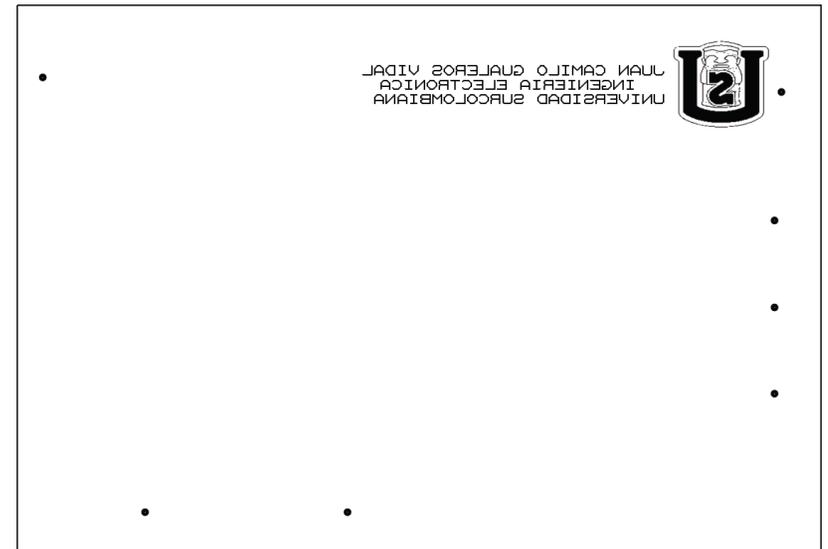
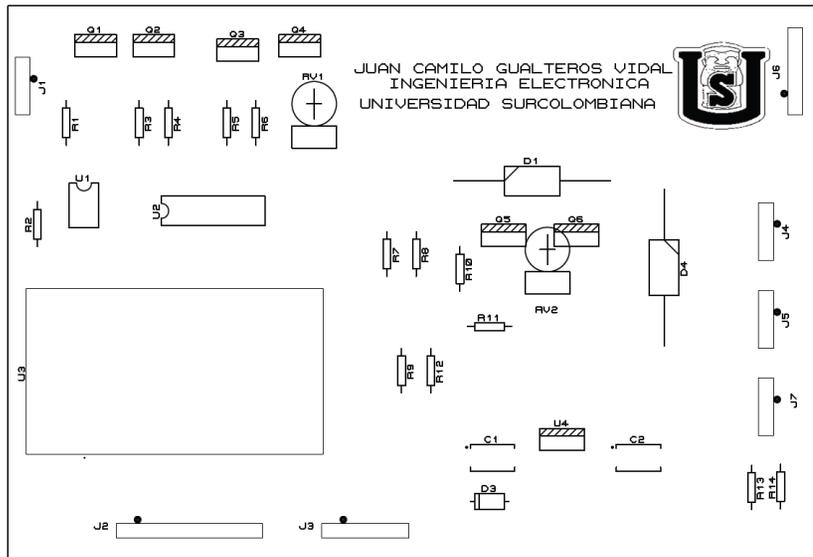
# Anexo 6: Pista Lado Componentes



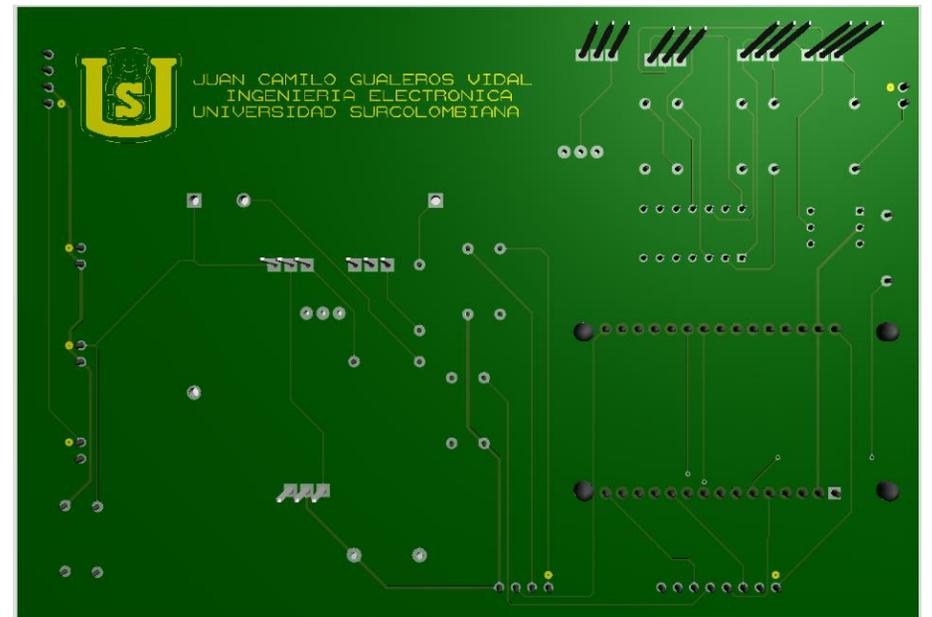
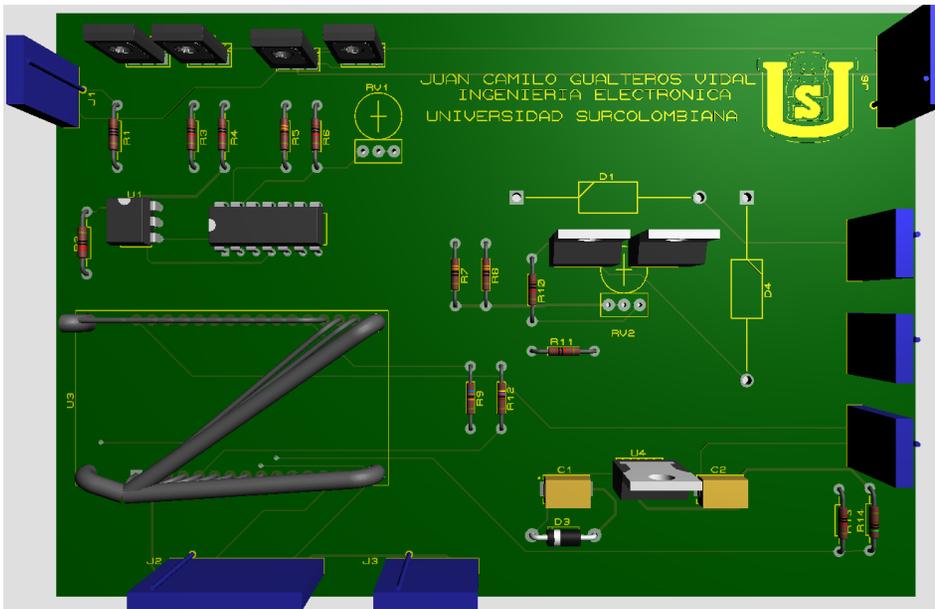
Anexo 7: Pistas Lado Componentes y Lado Soldadura



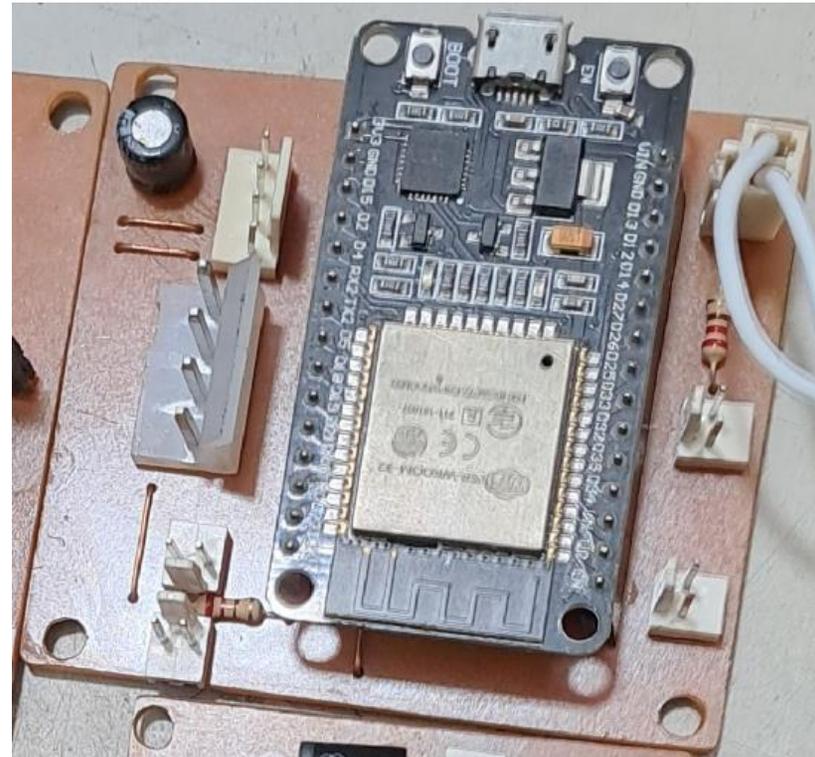
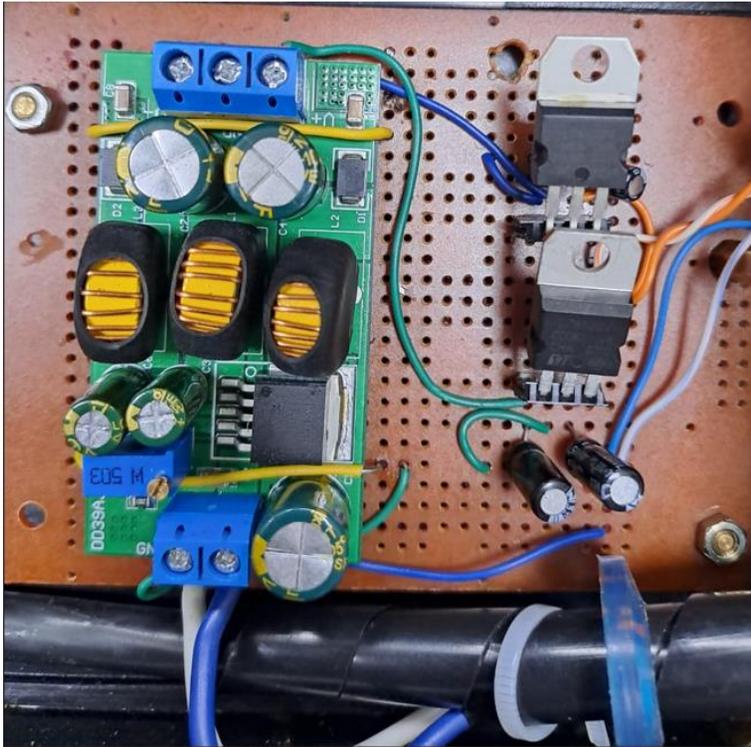
# Anexo 8: Serigrafía Lado Componentes y Lado Soldadura



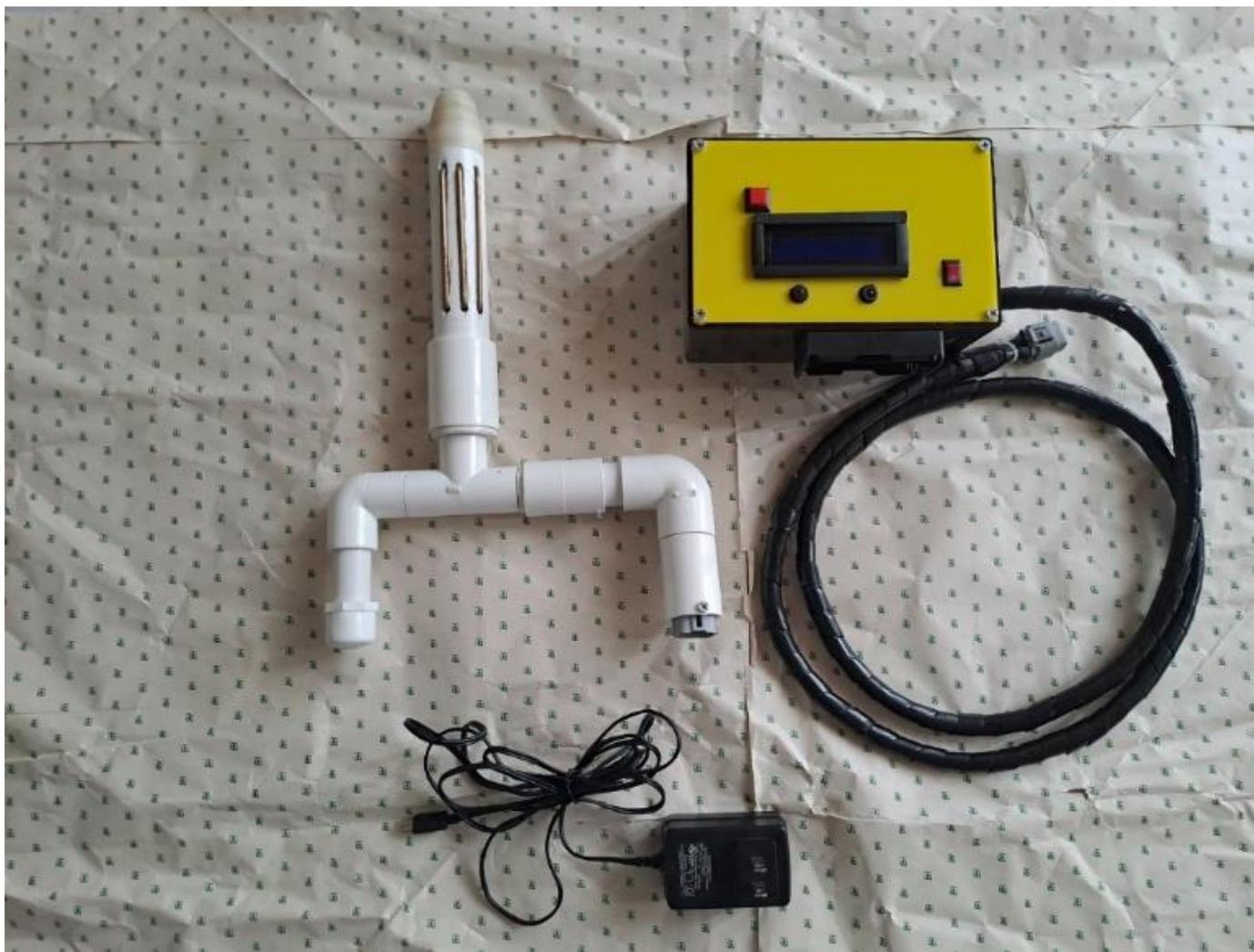
### Anexo 9: Layout 3D Cara Superior e Inferior

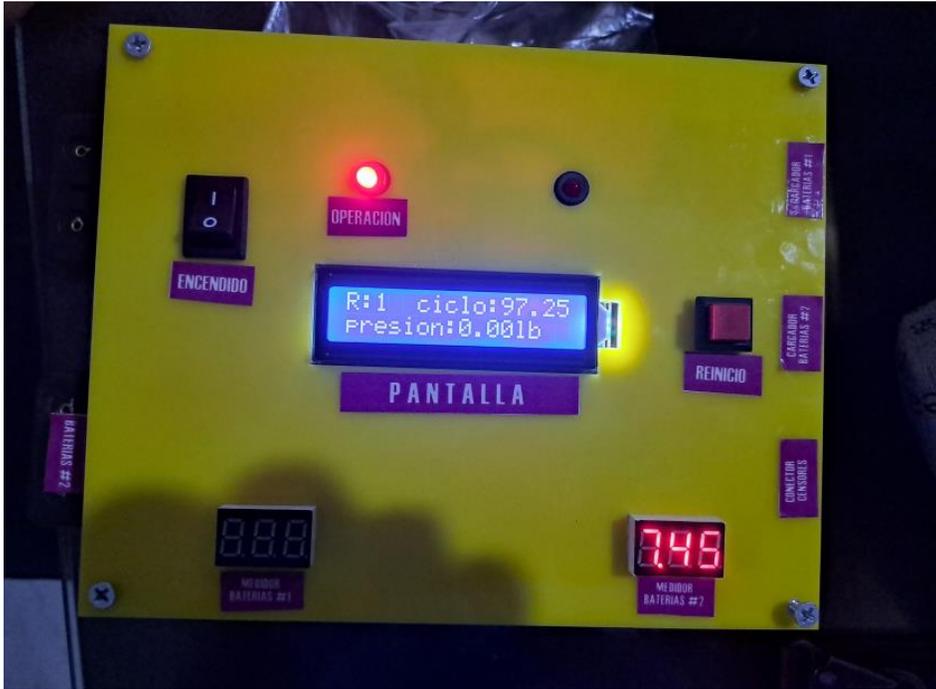


Anexo 10: Elevador Dual 3.5V-(12V-12 V) y Placa de Control

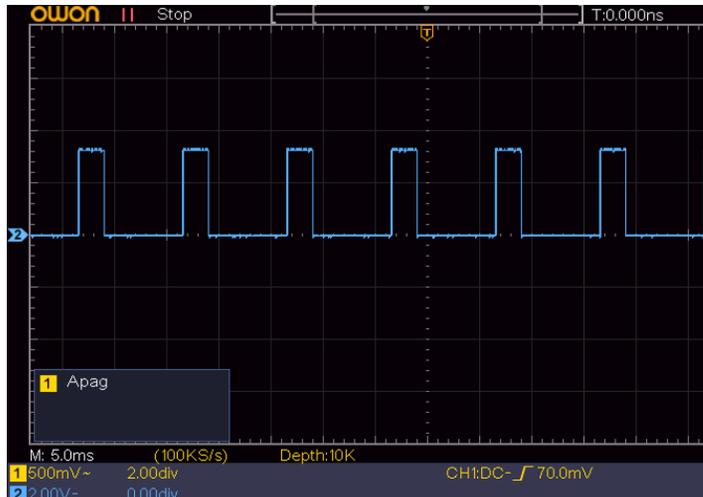


Anexo 11: Kit Completo BT-Eyaculador

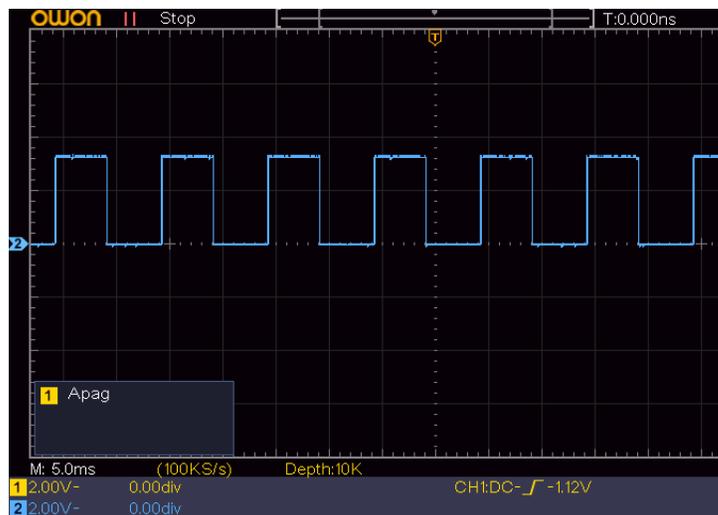
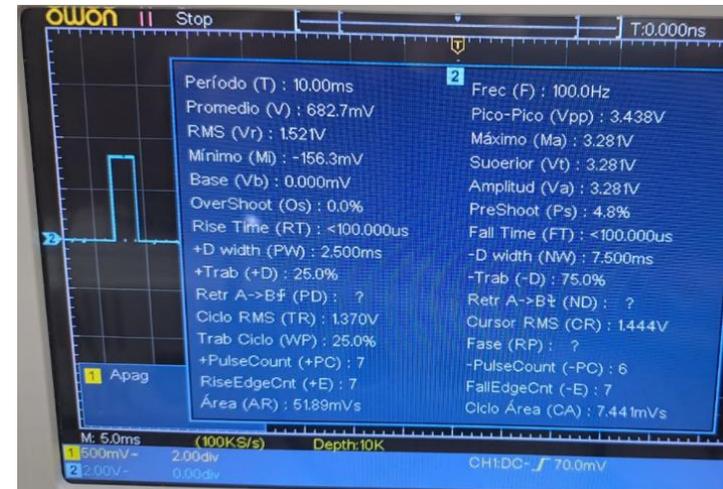




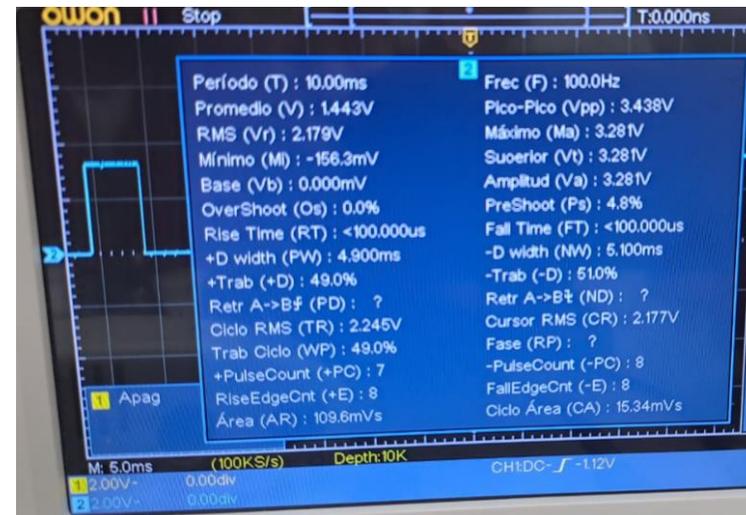
## Anexo 12: Señales Del Microcontrolador

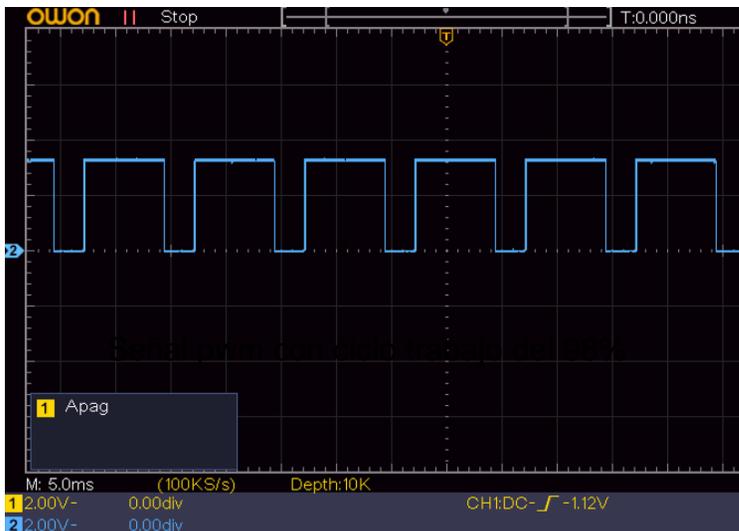


Señal pwm con ciclo de trabajo del 24%

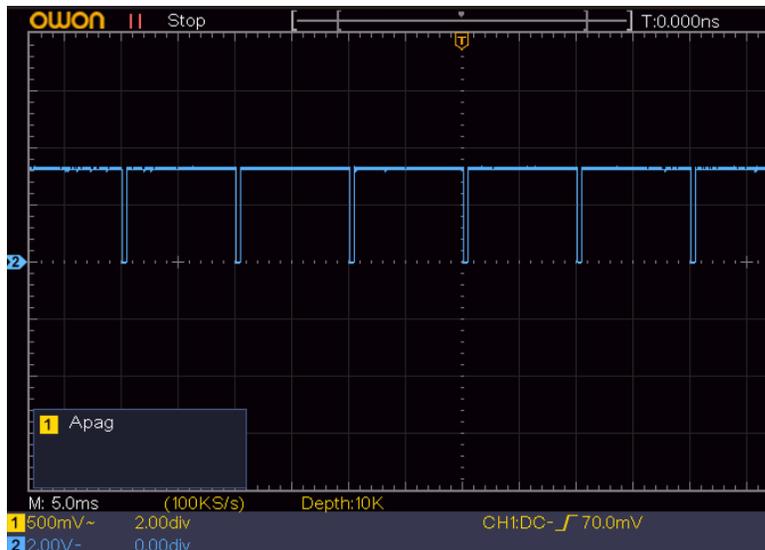


Señal pwm con ciclo de trabajo del 48%





Señal pwm con ciclo trabajo del 74%

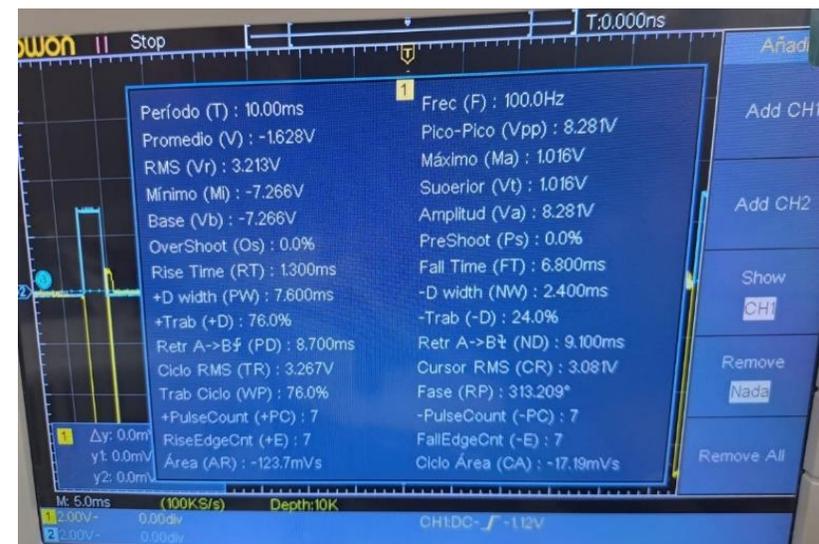
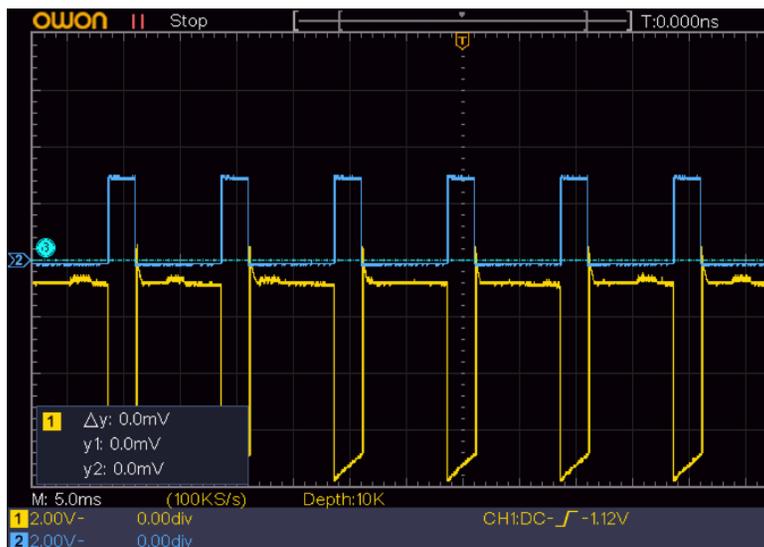
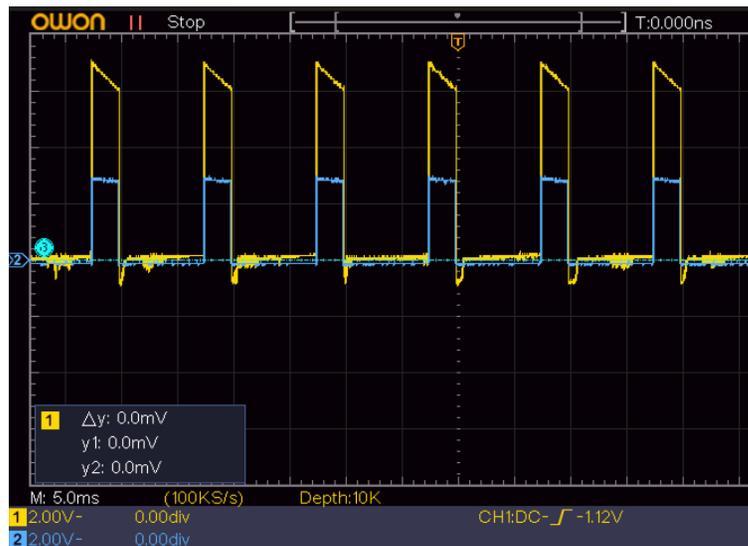


Señal pwm con ciclo trabajo del 98%

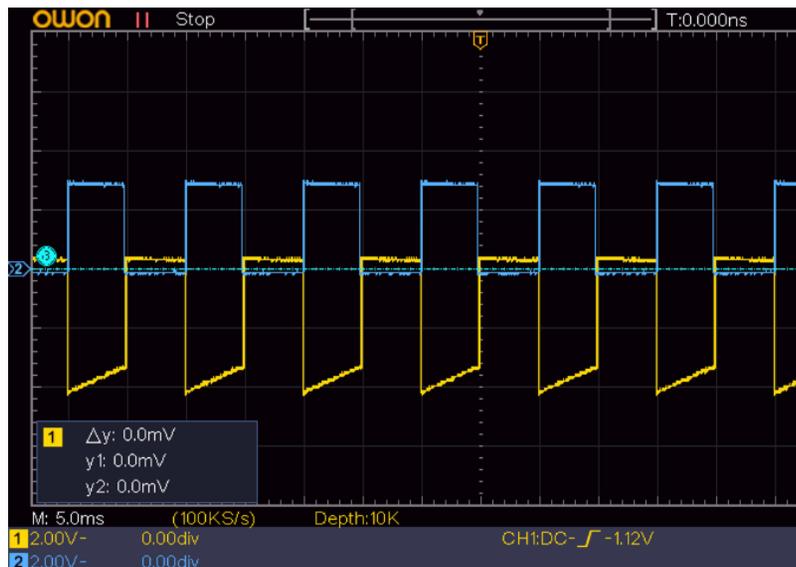
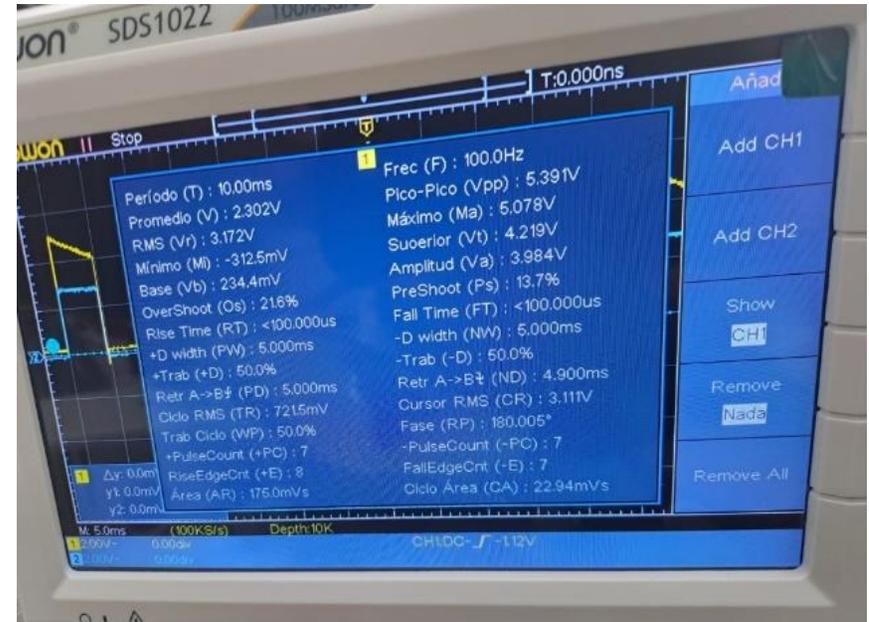
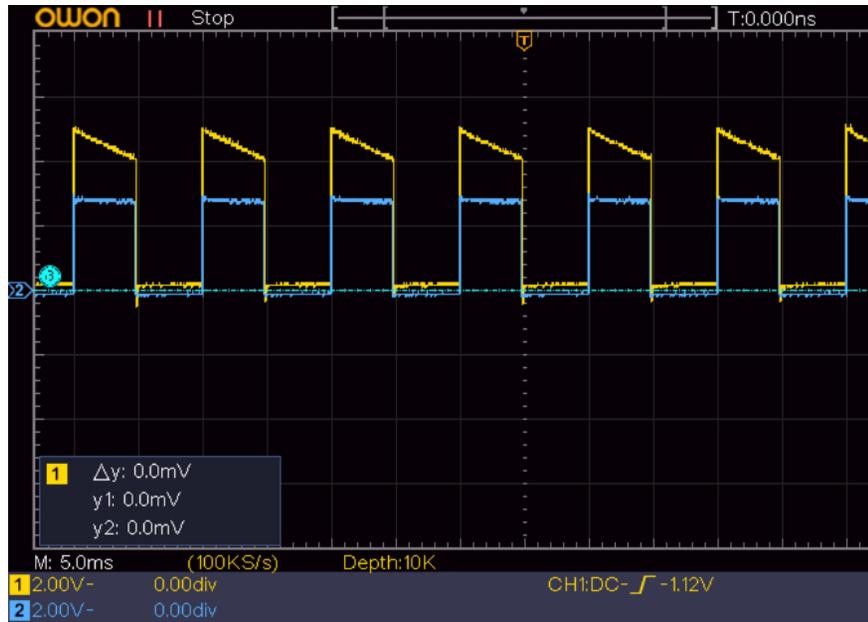


## Anexo 13: Señales De La Carga

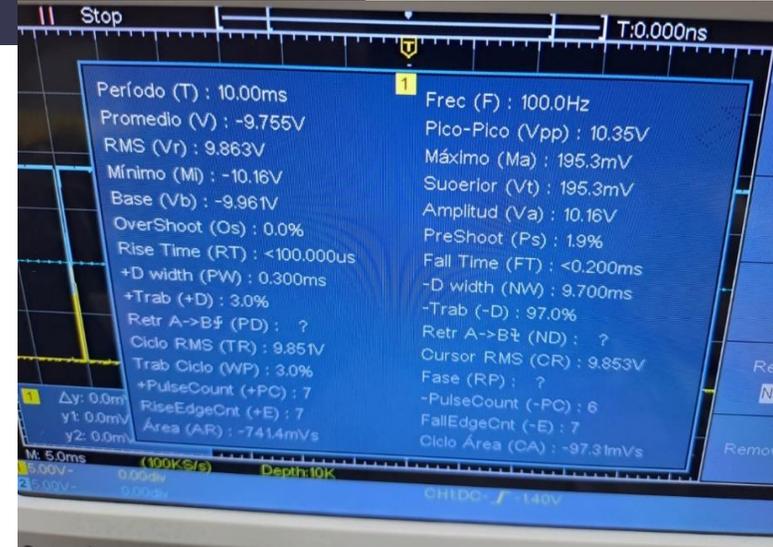
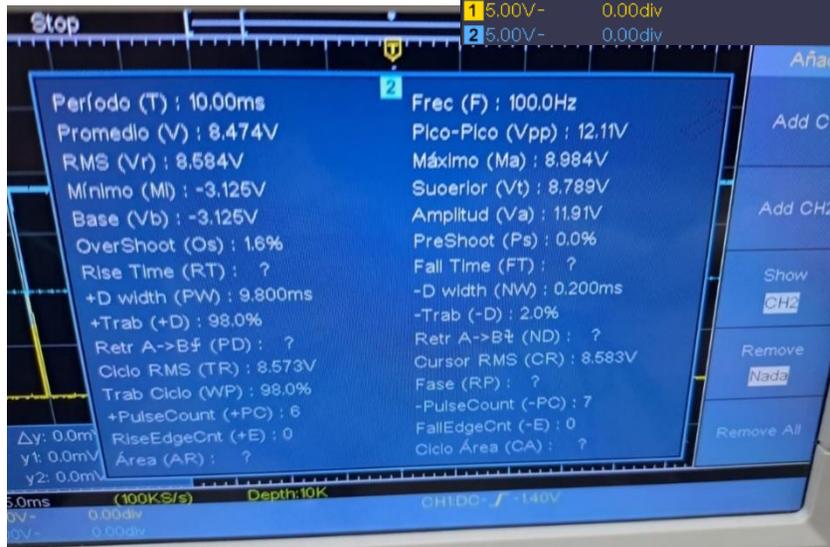
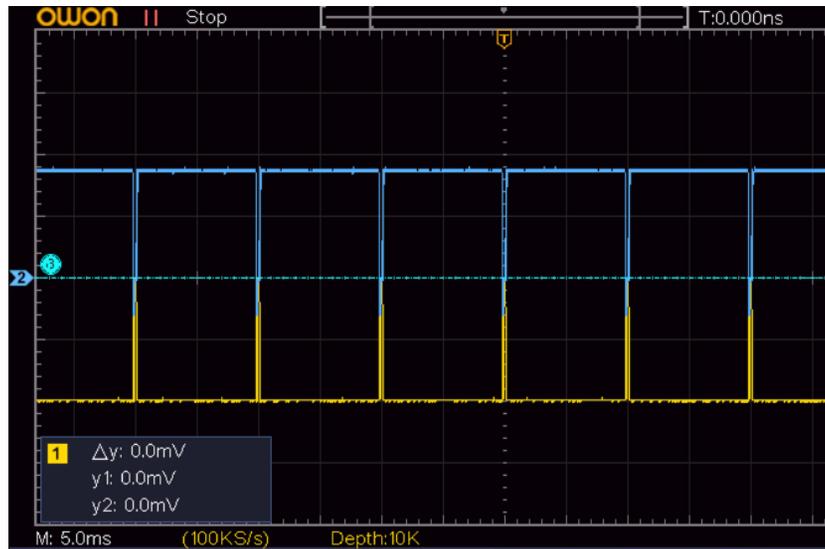
A continuación, se muestran las señales que proporcionados por la etapa de amplificación a la carga (electrodos) duty 24%.



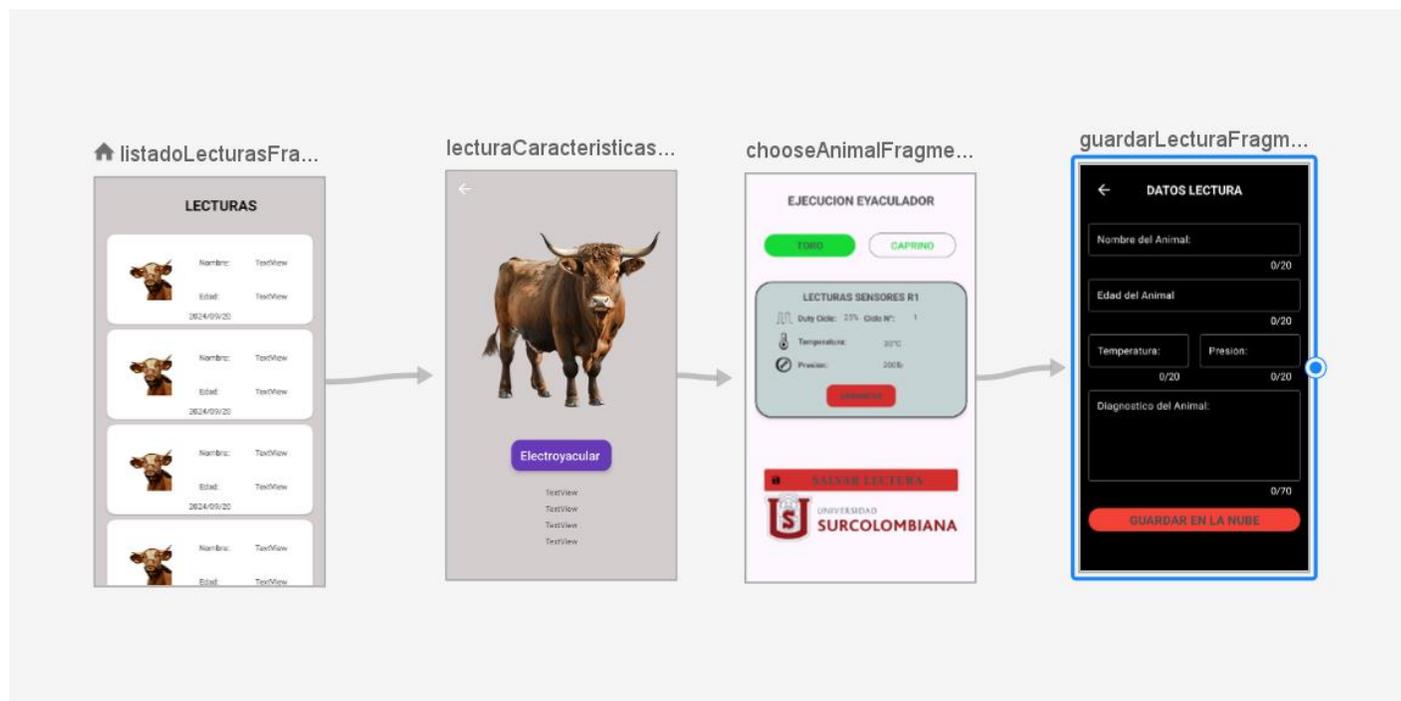
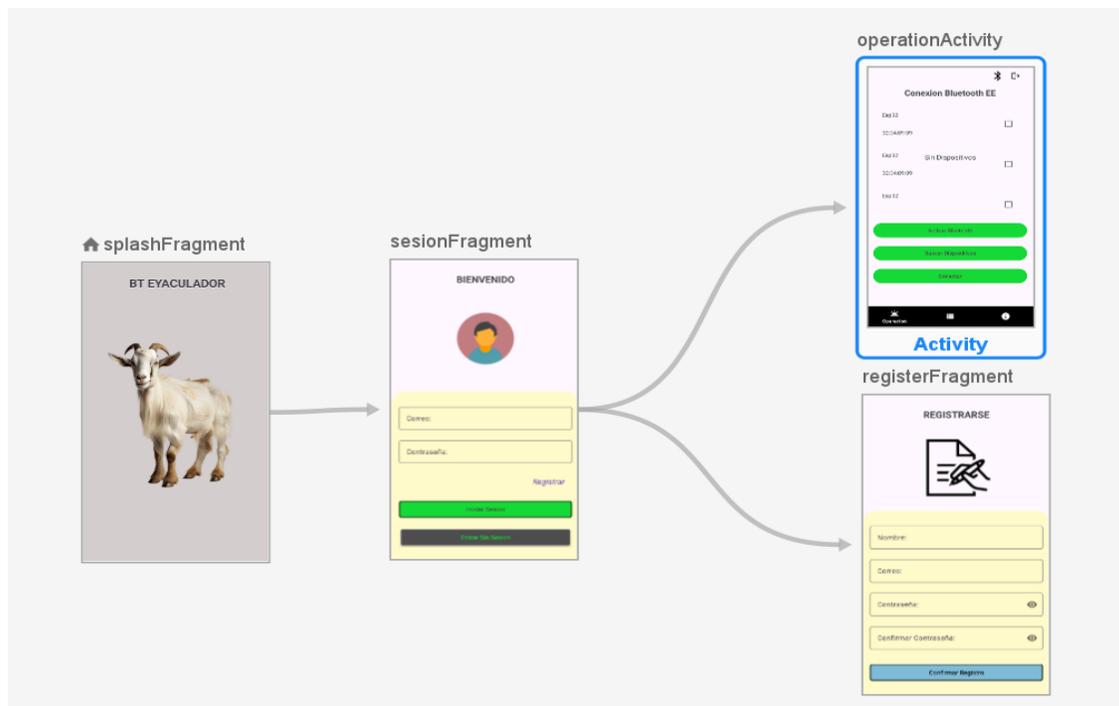
A continuación, se muestran las señales en la carga para duty de 48%:

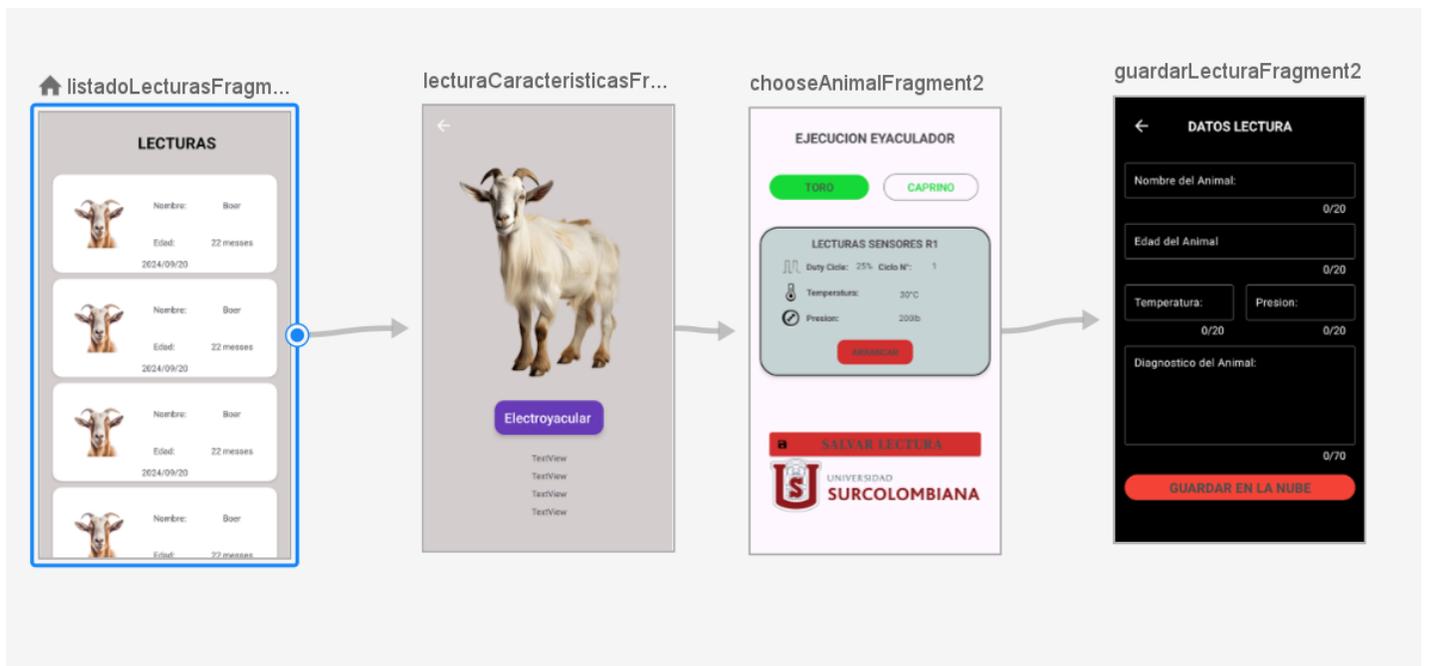


A continuación, se muestran las señales positiva y negativa en la carga para ciclo de trabajo de 98%.



## Anexo 14. Rutas De Navegación App





## Anexo 15. Programación Selección De Especie En El Aplicativo

```
class ChooseAnimalActivity : AppCompatActivity(), ConnectThread.Listener {
    private lateinit var binding: ActivityChooseAnimalBinding
    private lateinit var auth: FirebaseAuth
    private val bluetoothController by lazy {
        BluetoothController.getInstance(btAdapter)
    }
    private val btAdapter by lazy {
        BtAdapter.getAdapterInstance()
    }
    private var name = ""
    private var age = ""
    private var preferences: SharedPreferences? = null
    override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
        super.onCreate(savedInstanceState)
        binding = ActivityChooseAnimalBinding.inflate(layoutInflater)
        setContentView(binding.root)
        setSupportActionBar(findViewById(R.id.toolbarMenu))
        auth = Firebase.auth
        var animal = ""
        preferences =
getSharedPreferences(BluetoothPreferences.BLUETOOTH_DEVICE, MODE_PRIVATE)
        val mac = preferences?.getString(BluetoothPreferences.MAC, "") as
String
        bluetoothController.startConnection(mac, this)
        Log.e("macc", mac)
        binding.btnToro.setOnClickListener {
            val titulo: String = "DATOS BOVINO"
            val especie = ANIMAL_BOVINO
            animal = "Toro"
            setAlertDialog(titulo, especie)
        }
        binding.btnCaprino.setOnClickListener {
            val titulo: String = "DATOS CAPRINO"
            val especie = ANIMAL_CAPRINO
            animal = "Carpino"
            setAlertDialog(titulo, especie)
        }
        binding.btnArrancar.setOnClickListener {
            binding.layoutMediciones.visibility = View.VISIBLE
            bluetoothController.sendMessage(ARRANCAR_ESTIMULO)
            Log.e("estimulo", ARRANCAR_ESTIMULO)
        }
        binding.btnSalvar.setOnClickListener {
            val intentSalvar = Intent(this@ChooseAnimalActivity,
SaveLectureActivity::class.java)
            intentSalvar
```

```

        .putExtras(bundleOf(Pair("dato", Lectura(" ", name, age,
binding.tvTemperaturas.text.toString(),
binding.tvPresion.text.toString(),binding.tvPresion.text.toString() ))))
        startActivity(intentSalvar)
        finish()
    }
}
private fun showAlertDialog(titulo: String, animal: String) {
    val dialogView =
LayoutInflater.from(this).inflate(R.layout.animal_form, null)
    AlertDialog.Builder(this)
        .setTitle(titulo)
        .setView(dialogView)
        .setPositiveButton("Registrar") { dialog, _ ->
            name =
dialogView.findViewById<TextInputLayout>(R.id.edtNombre).editText?.text.toS
tring()
            age =
dialogView.findViewById<TextInputLayout>(R.id.edtEdad).editText?.text.toStr
ing()
            bluetoothController.sendMessage(animal)
            Log.e("errorr", animal)
            binding.linearLayout.visibility = View.INVISIBLE
            binding.btnArrancar.visibility = View.VISIBLE
        }.setNegativeButton("Cancelar") { dialog, _ ->
            dialog.dismiss()
        }.create().show()
}
companion object {
    private const val ANIMAL_BOVINO = "T"
    private const val ANIMAL_CAPRINO = "C"
    private const val ARRANCAR_ESTIMULO = "A"
}
override fun onCreateOptionsMenu(menu: Menu?): Boolean {
    menuInflater.inflate(R.menu.options_menu, menu)
    return super.onCreateOptionsMenu(menu)
}
override fun onOptionsItemSelected(item: MenuItem): Boolean {
    return when(item.itemId){
        R.id.Lista->{
            val intent = Intent(this@ChooseAnimalActivity,
ShowLecturasActivity::class.java)
            startActivity(intent)
            true
        }else->{
            super.onOptionsItemSelected(item)
        }
    }
}

```



## Anexo 16. Programación Persistencia Remota

```
class GuardarLecturasActivity : AppCompatActivity(), ConnectThread.Listener
{
    private lateinit var binding: ActivitySaveLectureBinding
    private lateinit var db: FirebaseDatabase
    private lateinit var reference: DatabaseReference
    private var lectura: Lectura? = null
    private val bluetoothController by lazy {
        BluetoothController.getInstance(btAdapter)
    }
    private var preferences: SharedPreferences? = null
    private val btAdapter by lazy {
        BtAdapter.getAdapterInstance()
    }

    @SuppressWarnings("NewApi")
    override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
        super.onCreate(savedInstanceState)
        binding = ActivitySaveLectureBinding.inflate(layoutInflater)
        setContentView(binding.root)
        db = FirebaseDatabase.getInstance()
        reference = db.getReference("Lecturas")
        preferences =
            getSharedPreferences(BluetoothPreferences.BLUETOOTH_DEVICE, MODE_PRIVATE)
        val mac = preferences?.getString(BluetoothPreferences.MAC, "") as
String
        bluetoothController.startConnection(mac, this)
        val bundleExtra = intent?.extras
        lectura = bundleExtra?.getParcelable("dato", Lectura::class.java)
        Log.e("DATO--", lectura.toString())
        setearCampos()
        binding.btnBackLectures.setOnClickListener {
            startActivity(
                Intent(
                    this@SaveLectureActivity,
                    ChooseAnimalActivity::class.java
                )
            )
        }
    }
}
```

```

binding.btnGuardar.setOnClickListener {

    val lecturaId = reference.push().key.toString()
    val nombre = binding.edtNombreAnimal.editText?.text.toString()
    val edad = binding.edtEdadAnimal.editText?.text.toString()
    val temperatura =
binding.edtTemperaturaAnimal.editText?.text.toString()
    val presion =
binding.edtPresionAnimal.editText?.text.toString()
    val descripcion =
binding.edtDiagnosticoAnimal.editText?.text.toString()
    val lec = Lectura(lecturaId, nombre, edad, temperatura,
presion, descripcion)
    reference.child(lecturaId).setValue(lec).addOnCompleteListener

{ task ->

    if (task.isSuccessful) {
        bluetoothController.sendMessage(REINICIAR_MODULO)
    } else {

        Toast.makeText(
            this@SaveLectureActivity,
            "No se pudo guardar",
            Toast.LENGTH_LONG
        ).show()
    }
}

startActivity(
    Intent(
        this@SaveLectureActivity,
        ChooseAnimalActivity::class.java
    )
)
}
}
}

```

```
private fun setearCampos() {
    binding.edtNombreAnimal.editText?.setText(lectura?.nombre)
    binding.edtEdadAnimal.editText?.setText(lectura?.edad)
binding.edtTemperaturaAnimal.editText?.setText(lectura?.temperatura)
    binding.edtPresionAnimal.editText?.setText(lectura?.presion)
}
companion object {
    const val REINICIAR_MODULO = "R"
}
override fun onReceive(message: String) {
}
}
```