



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE: GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE FUERZA DE IMPACTO
GENERADO POR LOS ATLETAS EN DEPORTES DE COMBATE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Carlos Alejandro Reyes Zambrano
Franklin Oswaldo Endara Ordoñez
TUTOR: Ing. Nino Tello Vega Ureta Msc.

Guayaquil - Ecuador
2024



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE: GUAYAQUIL

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE FUERZA DE IMPACTO
GENERADO POR LOS ATLETAS EN DEPORTES DE COMBATE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Carlos Alejandro Reyes Zambrano
Franklin Oswaldo Endara Ordoñez

TUTOR: Ing. Nino Tello Vega Ureta Msc.

Guayaquil - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Carlos Alejandro Reyes Zambrano** con documento de identificación N° **0940634595** y **Franklin Oswaldo Endara Ordoñez** con documento de identificación N° **0922376165**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 26 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Reyes Zambrano Carlos Alejandro
0940634595



Endara Ordoñez Franklin Oswaldo
0922376165

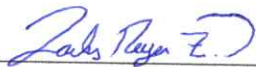
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Carlos Alejandro Reyes Zambrano** con documento de identificación N° **0940634595** y **Franklin Oswaldo Endara Ordoñez** con documento de identificación N° **0922376165**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE FUERZA DE IMPACTO GENERADO POR LOS ATLETAS EN DEPORTES DE COMBATE**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 26 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Carlos Alejandro Reyes Zambrano
0940634595



Franklin Oswaldo Endara Ordoñez
0922376165

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Nino Tello Vega Ureta**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE FUERZA DE IMPACTO GENERADO POR LOS ATLETAS EN DEPORTES DE COMBATE**, realizado por **Carlos Alejandro Reyes Zambrano** con documento de identificación N° **0940634595** y por **Franklin Oswaldo Endara Ordoñez** con documento de identificación N° **0922376165**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Ing. Nino Tello Vega Ureta, Msc.
0963020193

DEDICATORIA

A mis padres por apoyarme en las muchas veces en las que no podría continuar con mis estudios por remuneración y siempre estuvieron ahí diciéndome que si puedo. A mi abuela que también me apoyo en momentos difíciles y espera con ansias que obtenga mi título de ingeniero. A mis amigos con los que inicie la carrera que a pesar de diferencias de edades pudimos ser muy unidos pero por situación externas o por la situación de pandemias nos fuimos distanciando por semestres pero a pesar de eso seguíamos comunicándonos. A mis colegas de trabajo que me explicaron muchas cosas en mi tiempo como pasante o después como trabajador que a pesar de saber y tener conocimiento aún tenía que aprender mucho más.

Carlos Reyes

Dedico este trabajo a Dios, quien me ha guiado y fortalecido en cada paso de mi vida, brindándome la sabiduría y perseverancia necesarias para alcanzar mis metas. A mi familia, que ha sido mi pilar incondicional; a mis padres, por su amor y sacrificio, por creer en mí y apoyarme en cada desafío; y a mis amigos, por su compañía y palabras de aliento en los momentos más difíciles. Este logro es también de ustedes.

Franklin Endara

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres y a mis seres queridos que me apoyaron durante esta larga travesía por seguir en esta carrera universitaria y pensar y soñar en las muchas cosas que podría lograr en mi futuro. Agradezco a los profesores de la universidad por compartir sus conocimientos en su labor como tutores en sus materias, que se aplican fuera de la institución en el mundo laboral. Agradezco también a aquella persona que fue una luz de ayuda y me hizo pensar diferente y conocer un mundo diferente al que pensaba, y a los amigos que he conocido durante mi trayecto en la carrera, a X.Toala un gran compañero que siempre nos apoyo en esta camino. De antemano les digo, muchas gracias por todo.

Carlos Reyes

En primer lugar, agradezco a Dios, fuente de inspiración y fortaleza, por brindarme la salud, la paciencia y la claridad mental necesarias para culminar este proyecto.

A mi familia, especialmente a mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser el motor que me impulsa a ser mejor cada día. A mis hermanos, por su ánimo y por recordarme siempre que soy capaz de lograr mis sueños.

A mis amigos, por su amistad, consejos y comprensión durante este proceso. Gracias por estar presentes en los momentos de duda, por compartir alegrías y por ser un soporte invaluable en mi vida.

Este logro no hubiera sido posible sin cada uno de ustedes.

Franklin Endara

I. RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un dispositivo capaz de medir la fuerza de impacto en deportes de combate, utilizando un microcontrolador ESP32 junto con celdas de carga de 50 kg y acelerómetros. El sistema está diseñado para registrar, procesar y enviar datos a la nube en tiempo real. Se realizaron pruebas en escenarios controlados para validar la precisión del dispositivo, comparando los resultados obtenidos con medidores comerciales de referencia. Además, se implementaron algoritmos de procesamiento de datos en Python y MicroPython para garantizar la eficiencia del sistema. Los resultados de las pruebas demostraron que el dispositivo puede captar datos con un error mínimo y mantener un rendimiento estable durante pruebas prolongadas. Se realizaron ajustes en el hardware y software para optimizar su funcionamiento. Finalmente, se proporcionan recomendaciones para mejorar la precisión y explorar nuevas aplicaciones en otros deportes o áreas como la biomecánica y rehabilitación física.

Palabras claves: fuerza de impacto, ESP32, celdas de carga, acelerómetros, deportes de combate, procesamiento de datos, tiempo real.

II. ABSTRACT

This project aims to develop a device capable of measuring impact force in combat sports, using an ESP32 microcontroller along with 50 kg load cells and accelerometers. The system is designed to record, process, and send data to the cloud in real-time. Tests were conducted in controlled scenarios to validate the device's accuracy, comparing the obtained results with commercial reference force meters. Additionally, data processing algorithms were implemented in Python and MicroPython to ensure system efficiency. The test results demonstrated that the device can capture data with minimal error and maintain stable performance during prolonged trials. Adjustments were made to the hardware and software to optimize functionality. Finally, recommendations are provided to enhance accuracy and explore new applications in other sports or areas such as biomechanics and physical rehabilitation.

Keywords: impact force, ESP32, load cells, accelerometers, combat sports, data processing, real-time.

ÍNDICE

| | | |
|--------------|--|----|
| I. | Resumen | 7 |
| II. | Abstract | 8 |
| III. | Introducción | 14 |
| IV. | Problemática | 14 |
| IV-A. | Planteamiento Del Problema | 15 |
| IV-B. | Antecedentes | 15 |
| V. | Delimitación | 16 |
| V-A. | Alcance | 16 |
| V-B. | Población | 16 |
| V-C. | Variable Independiente | 16 |
| V-D. | Variable Dependiente | 16 |
| VI. | Justificación | 16 |
| VI-A. | Hipótesis | 17 |
| VII. | Objetivos | 17 |
| VII-A. | Objetivo General | 17 |
| VII-B. | Objetivos específicos | 17 |
| VIII. | Marco Teórico | 18 |
| VIII-A. | Sensores | 18 |
| VIII-A1. | Celdas de carga | 18 |
| VIII-A2. | Tipos de Celdas de Carga | 18 |
| VIII-B. | Acelerómetros | 19 |
| VIII-C. | Tipos de Sensores según su Clasificación | 20 |
| VIII-D. | Tipo de Programación | 21 |
| VIII-D1. | Programación de Sistemas Embebidos | 21 |
| VIII-D2. | Componentes clave para la programación de Sistemas Embebidos | 21 |
| VIII-E. | Tipo de Conectividad | 22 |
| VIII-E1. | Conectividad con Sensores | 22 |
| VIII-E2. | Raspberry Pi Modelo 4b | 22 |
| VIII-E3. | ESP32 | 22 |
| IX. | Tipos de fuentes de alimentación | 23 |
| IX-A. | Fuentes de alimentación lineales | 23 |
| IX-B. | Fuentes de alimentación conmutadas (SMPS) | 23 |
| IX-C. | Fuentes de alimentación ininterrumpida (UPS) | 23 |
| IX-C1. | Componentes principales | 23 |
| IX-C2. | Transformador | 23 |
| IX-C3. | Rectificador | 23 |
| IX-C4. | Filtro | 23 |
| IX-C5. | Regulador de voltaje | 23 |
| IX-C6. | Conectividad para Almacenamiento en la Nube | 23 |
| IX-C7. | Amplificador Hx711 | 23 |
| IX-C8. | Conectividad con Interfaces de Usuario y Visualización | 23 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| IX-D. | Modelado Matemático | 24 |
| IX-D1. | Modelado de la Dinámica del Impacto | 24 |
| IX-D2. | Ecuación de Movimiento | 24 |
| IX-D3. | Aplicación al Dispositivo de Medición | 24 |
| IX-E. | Lenguaje de Programación | 25 |
| IX-E1. | MicroPython | 25 |
| IX-E2. | Breve Historia de MicroPython | 25 |
| IX-F. | Anatomía | 26 |
| IX-F1. | Fuerza Muscular | 26 |
| IX-F2. | Entrenamiento Deportivo | 27 |
| IX-F3. | Deportes de Combate | 27 |
| X. | Tipos de Deportes de Combate | 27 |
| X-A. | Muay Thai | 27 |
| X-B. | Boxeo | 27 |
| X-C. | Karate | 28 |
| X-D. | Taekwondo | 28 |
| XI. | Importancia del Rendimiento y Evaluación en Deportes de Combate | 28 |
| XII. | Biomecánica del Impacto en Deportes de Combate | 28 |
| XII-A. | Técnicas de Golpeo y Patadas | 28 |
| XII-B. | Balance y Estabilidad | 28 |
| XII-C. | Defensa y Bloqueo | 28 |
| XII-D. | Lesiones y Prevención | 28 |
| XII-E. | Equipamiento de Protección | 29 |
| XIII. | Tecnologías y Medición de la Fuerza | 29 |
| XIII-A. | Dispositivos de Medición | 29 |
| XIII-A1. | Dinamómetro | 30 |
| XIII-A2. | Partner Bertec (Plataforma) | 30 |
| XIV. | Marco Metodológico | 31 |
| XIV-A. | Identificación de las Necesidades | 31 |
| XIV-B. | Etapas del Proyecto | 32 |
| XIV-C. | Revisión de Literatura | 32 |
| XIV-D. | Diseño de la Investigación | 33 |
| XIV-E. | Fase de Desarrollo de Hardware | 33 |
| XIV-E1. | Elección de materiales | 33 |
| XV. | Soluciones | 33 |
| XV-A. | Para medir fuerza: | 33 |
| XV-B. | Microcontroladores: | 33 |
| XV-C. | Visualización y procesamiento de datos: | 33 |
| XVI. | Matriz de solución para medir fuerza | 34 |
| XVII. | Matriz de solución para escoger el microcontrolador | 35 |
| XVIII. | Matriz de solución para validar y procesar los datos | 35 |

| | |
|---|----|
| XIX. Diagrama de Bloque de Funcionamiento | 35 |
| XIX-A. Selección de Componentes | 35 |
| XIX-A1. Sensores de Fuerza | 35 |
| XIX-A2. Microcontrolador Raspberry Pi | 35 |
| XIX-A3. Placa Esp32 | 35 |
| XIX-B. Desarrollo de Software | 36 |
| XIX-B1. Programación en MicroPython y Python | 36 |
| XX. Diseño de Equipo | 36 |
| XX-A. Componentes | 36 |
| XX-A1. Pantalla con Raspberry Pi 4B | 36 |
| XX-A2. Equipo de Medición de Fuerza con Celdas de Carga | 36 |
| XX-A3. Caja de Componentes Electrónicos | 37 |
| XX-B. Funcionamiento del Sistema | 37 |
| XX-B1. Actualización de la Caja de Componentes | 37 |
| XXI. Simulación | 37 |
| XXI-A. Conversión de Kilogramos a Newtons (Fuerza) | 37 |
| XXI-B. Energía Cinética (KE) | 37 |
| XXI-C. Trabajo Realizado (W) | 37 |
| XXI-D. Tensión o Stress (σ) | 38 |
| XXI-E. Frecuencia Natural de Vibración | 38 |
| XXI-F. Coeficiente de Restitución (COR) | 38 |
| XXII. Diseño del Circuito | 38 |
| XXII-A. Componentes del Circuito | 38 |
| XXII-B. Esquema del Circuito | 38 |
| XXII-C. Flujo de Señales | 38 |
| XXIII. Diseño del Programa | 38 |
| XXIII-A. Inicialización | 39 |
| XXIII-A1. Configuración de la conexión WiFi (punto de acceso) | 39 |
| XXIII-A2. Interfaz con el sensor HX711 | 39 |
| XXIII-A3. Servidor web integrado | 39 |
| XXIII-A4. Generación de la interfaz HTML | 39 |
| XXIII-A5. Manejo de errores | 39 |
| XXIII-B. Captura de Datos | 39 |
| XXIII-C. Procesamiento de Señales | 39 |
| XXIII-D. Envío de Datos a la Nube | 39 |
| XXIV. Pruebas de Campo | 39 |
| XXIV-A. Parámetros Medidos | 39 |
| XXIV-B. Filtrado de Señales | 40 |
| XXIV-C. Preparación de las Pruebas | 40 |
| XXIV-C1. Escenarios de Prueba | 40 |
| XXIV-C2. Parámetros que Evaluar | 41 |
| XXIV-C3. Análisis de los Resultados | 41 |
| XXIV-C4. Ajustes y Optimización | 41 |
| XXV. Cronograma de Actividades | 42 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| XXVI.Presupuesto Referencial | 43 |
| XXVIIConclusiones | 44 |
| XXVIIIRecomendaciones | 44 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Celda de carga de plataforma y punto único [logicbus]. | 19 |
| 2. | Acelerómetro [barrera2023impacto1]. | 19 |
| 3. | Descripción de señales[14] | 20 |
| 4. | Esquema de conectividad en una Raspberry Pi [becerra2020sistema]. | 22 |
| 5. | Módulo ESP32 [26] | 22 |
| 6. | MicroPython. Información adaptada de [hernandez2024embedded]. | 25 |
| 7. | Anatomía muscular [editorial2021anatomia]. | 26 |
| 8. | Estudio de Fuerza en el país [7]. | 27 |
| 9. | Conjunto de fuerzas que se aplican en un punto Adaptado de [13]. | 29 |
| 10. | Adaptado de Aname [13]. | 30 |
| 11. | Plataforma Bertec [3]. | 31 |
| 12. | Diagrama de Bloques diseñado por autores. | 35 |
| 13. | Diseño de la interfaz del equipo propiedad Autores | 36 |
| 14. | Plano diseñado por autores. | 36 |
| 15. | Simulación diseñado por autores. | 37 |
| 16. | Diseño de sistema eléctrico propiedad Autores | 38 |
| 17. | Equipos utilizados para medición de fuerza propiedad Autores | 41 |
| 18. | Resultados de medición de fuerza propiedad Autores | 41 |

III. INTRODUCCIÓN

Para comenzar correctamente la formación en actividad física y deportiva, es fundamental identificar oportunamente las habilidades físicas y mecánicas que servirán como base para el desarrollo y adquisición de destrezas. Es esencial disponer de estándares científicos y recursos tecnológicos que permitan comprender el avance físico.

La capacidad motora de los atletas en deportes como los deportes de combate y las artes marciales es esencial para que puedan realizar sus mejores esfuerzos y lograr resultados excepcionales. Sin embargo, la cuantificación de aspectos como la fuerza y la velocidad suele ser un desafío porque generalmente se basa en la apreciación subjetiva de entrenadores o especialistas, lo cual puede introducir un amplio margen de error y afectar negativamente la planificación del entrenamiento. Esto hace que sea necesario desarrollar dispositivos que permitan una medición precisa de estas características.

Este estudio busca crear una herramienta que puede medir la aceleración y la fuerza de un golpe. El objetivo de la recopilación de estos datos es mejorar la planificación de los entrenamientos al identificar las cualidades físicas que requieren mejora y aquellas que ya están en un nivel óptimo de desarrollo. Para determinar los requisitos que debía cumplir el dispositivo, se procura revisar la literatura en la etapa inicial del proyecto para asegurarse de que las capacidades físicas evaluadas fueran las más relevantes para el desempeño de un atleta en deportes de combate. Según el análisis de creadores como Bompa y Grosser, la fuerza, la velocidad y la potencia son las habilidades clave a medir.

El diseño del dispositivo se presenta a continuación. En este punto, se desarrollaron los circuitos necesarios para medir las capacidades físicas y para el procesamiento de datos por computadora. Además, se construyó la estructura física que sería responsable de recibir los golpes. Finalmente, se explica el proceso de construcción de software y hardware, así como la creación de un protocolo de prueba de funcionamiento. Estos esfuerzos llevaron a la creación de un aparato capaz de medir la aceleración y la fuerza de un solo golpe.

IV. PROBLEMÁTICA

La práctica de deportes de contacto, como el boxeo, el karate, muay thai, kick boxing o las artes marciales mixtas, conlleva la ejecución de golpes contundentes que pueden generar fuerzas significativas. Sin embargo, la falta de una medición precisa de la fuerza de impacto dificulta la evaluación objetiva del rendimiento del deportista y la optimización de los programas de entrenamiento. Esta problemática se debe a la carencia de dispositivos de medición específicos y confiables que puedan proporcionar datos cuantitativos precisos sobre la fuerza generada en cada impacto. ([3]) La ausencia de información cuantitativa limita la capacidad de los entrenadores y deportistas para evaluar y mejorar sus habilidades, así como también obstaculiza la investigación científica en este campo.

Existen formas de medir la fuerza que no son eficaces ni adecuadas hacia la especificidad de los deportes, al contrario, se las mide de una manera general por medio de test o diferentes dispositivos. Algunos ejemplos son los test de fuerza máxima estática o isométrica, donde se busca obtener una medición por medio de dinamómetros de cable, máquinas de musculación o tensiómetros. ([11])

Por otro lado, para fuerza dinámica utilizamos otros tipos de test como el 1RM (Repetición Máxima) donde lo referimos a cada ejercicio de levantamiento (sentadilla máxima, press de banca o peso muerto) donde el resultado de este test es el peso máximo cargado en cada uno de los diferentes ejercicios.([11])

A nivel de fuerza explosiva que es uno de los tipos de fuerza más utilizados en los deportes de combate la forma de medir sigue siendo test y dispositivos como: Plataformas de fuerzas, encoders, metros digitales, etc. En taekwondo son muy utilizados los test de salto vertical, de tres saltos, di sentadillas con salto, etc. (cardozo2018values)

Ante el escaso desarrollo de implementos de medición que se ajusten a la necesidad del atleta y a los movimientos reales que realiza, es necesario el desarrollo de un dispositivo mecatrónico que permita el análisis preciso y cuantitativo de la fuerza generada por los golpes ejecutados por el atleta en su entrenamiento. El objetivo principal es desarrollar un artefacto que permita suplir el vacío de información actual que impide una correcta medición y evaluación continua del rendimiento del deportista. Con esto el entrenador podrá obtener datos veraces para así determinar el entrenamiento correcto y adecuado para cada uno de los deportistas a su cargo.

El desarrollar dispositivos de medición que sean específicamente para deportes de contacto, no solo buscando beneficiar a entrenadores y deportistas, sino también se podría derivar a oportunidades de investigaciones científicas, de la capacidad de medir de manera precisa la fuerza de impacto permitiéndole a los investigadores a estudiar los efectos de las diferentes variables dentro del rendimiento deportivo, implementando nuevos programas más efectivos, que tenga más especificidad a la hora de medir las fuerzas de impacto efectuadas.

IV-A. Planteamiento Del Problema

El uso de golpes de contacto es un aspecto crucial de la ventaja competitiva en los deportes de contacto, incluidos el boxeo, el karate, el muay thai, el kick boxing y las artes marciales mixtas. La fuerza de impacto en estos deportes no es sólo una medida de los ataques sino también un determinante de qué tan bien se está desempeñando el deporte y cómo se pueden adaptar los programas de entrenamiento para satisfacer esas necesidades. La medición precisa de la fuerza del impacto es un obstáculo importante en estos deportes. La mayoría de los métodos de medición utilizados hoy en día se basan en tecnologías generales como máquinas de pesas, dinamómetros de cable o aplicaciones de fuerza que capturan sólo la dinámica y la especificidad de los movimientos utilizados en los deportes de combate. La ausencia de métodos de medición precisos y fiables dificulta una evaluación imparcial del rendimiento de los atletas y dificulta que los entrenadores diseñen planes de entrenamiento eficaces y personalizados.

Adicional, la falta de información cuantitativa específica sobre la fuerza generada durante cada impacto impide la investigación científica en este ámbito. La escasez de información cuantitativa obstaculiza el desarrollo de estrategias de entrenamiento basadas en evidencia y una investigación biomecánica más extensa sobre el impacto de la fuerza de impacto en el rendimiento deportivo y la prevención de lesiones, existe una clara necesidad de crear un dispositivo que mida la fuerza de impacto para su uso en deportes de combate. El dispositivo debe poseer la capacidad de presentar información cuantitativa precisa y objetiva sobre la fuerza generada durante cada golpe, permitiendo una evaluación más precisa del rendimiento deportivo, la optimización del entrenamiento y la prevención de lesiones.

IV-B. Antecedentes

En el contexto de deportes como el Boxeo, el karate, el boxeo, el karate, muay thai, kick boxing o las artes marciales mixtas, necesariamente requieren ejecutar golpes precisos y con fuerza significativa. La medición precisa del impacto de la fuerza es un factor esencial a la hora de evaluar el rendimiento del deportista. Sin embargo, a lo largo de la historia ha existido la falta de dispositivos específicos y confiables que proporcionen datos cuantitativos precisos sobre la fuerza que genera cada impacto. Esta carencia limita a los entrenadores la capacidad de evaluar a los deportistas y mejorar sus habilidades de manera efectiva. Históricamente la medición de la fuerza de los deportes de contacto ha sido ineficaz debido a la carencia de especificidad. Los métodos tradicionales como los test de fuerza máxima estática o isométrica, son medidos con dinamómetros de cable, máquinas de musculación o tensiómetros. Dichos métodos que de cierta forma son útiles en ciertos contextos a la hora de medir no reflejan la dinámica de los movimientos reales en los deportes de combate.

La fuerza es uno de los factores cruciales en los deportes de contacto, siendo medidos con test y dispositivos como aplicaciones de fuerzas, o metros digitales. Aunque estos métodos ofrecen una aproximación de la fuerza requerida sigue la necesidad de medir de manera precisa la fuerza de los golpes en combates reales. Al pasar el tiempo la evolución de la medición de la fuerza en deportes de contacto ha avanzado significativamente, la creación de dispositivos que brinden información específica y precisa de la fuerza realizada, son cruciales para avanzar con

la evolución y optimización del rendimiento deportivo.

V. DELIMITACIÒN

V-A. *Alcance*

La investigación se centra en el desarrollo y validación de un dispositivo mecatrónico para medir la fuerza del impacto en deportes de contacto como boxeo, kárate, muay thai, kick boxing y artes marciales mixtas. La evaluación se limita a las competiciones oficiales y al entrenamiento, ya que las circunstancias de la competición pueden tener efectos impredecibles.

V-B. *Poblaciòn*

La población objetivo del estudio se compone por atletas y practicantes que realizan deportes de contactos.

V-C. *Variable Independiente*

Fuerza de impacto: Variable principal que se pretende medir con el dispositivo, dependiendo de la fuerza generada por los deportistas en sus golpes.

V-D. *Variable Dependiente*

Deportes de combate: Variable que incluye las diferentes disciplinas dentro de los deportes de combate, en que se evalúa la fuerza de impacto.

VI. JUSTIFICACIÒN

La justificación de este estudio se basa en la necesidad de desarrollar dispositivos de medición de fuerza de impacto que sean confiables y precisos en deportes de contacto. Estos dispositivos, como acelerómetros, balanzas inteligentes y una interfaz gráfica programada en un microcontrolador, donde se podrá insertar diferentes datos personales sobre las características físicas individuales (peso, altura, edad, IMC) permitirán obtener datos cuantitativos y objetivos sobre la fuerza generada en los golpes, lo cual es lo que a su vez facilitará: Evaluación del rendimiento: Los dispositivos de medición de fuerza de impacto proporcionarán información precisa sobre la potencia y la eficacia de los golpes, lo que permitirá evaluar de manera objetiva el rendimiento de los deportistas. Esto ayudará a identificar áreas de mejora y a establecer metas específicas y alcanzables en el entrenamiento.

Optimización del entrenamiento: Al contar con datos precisos sobre la fuerza de impacto, se podrán diseñar programas de entrenamiento personalizados y basados en evidencia. Estos programas se enfocarán en mejorar la potencia de los golpes, optimizar la técnica y reducir el riesgo de lesiones, lo que llevará a un mejor rendimiento en los deportes de contacto.

Prevención de lesiones: Los dispositivos de medición de fuerza de impacto permitirán identificar situaciones de riesgo y excesiva carga en los golpes, lo que contribuirá a la prevención de lesiones. Los entrenadores y deportistas podrán ajustar la técnica y establecer límites seguros para el entrenamiento, minimizando así el riesgo de lesiones graves.

Avances científicos: La disponibilidad de dispositivos de medición confiables y precisos fomentará la investigación científica en el campo de los deportes de contacto. Se podrán llevar a cabo estudios más rigurosos sobre la biomecánica de los golpes, la relación entre la fuerza de impacto y el rendimiento deportivo, y las estrategias de entrenamiento más efectivas.

Por medio de este dispositivo el cual se busca que tenga una base de datos con perfiles personalizados para cada atleta donde se ingresen sus datos como: Edad, peso, altura, IMC (Índice de masa corporal). Y presente los resultados de las mediciones por medio de un HMI, en el cual estos valores se sumen a la base de dato del deportista y nos permita hacer comparativas entre los atletas y nos muestre sugerencias de ejercicios o rutinas.

VI-A. *Hipótesis*

La implementación de dispositivo que integre un microcontrolador, sensores y programación en el lenguaje Python va a permitir medir de forma precisa y confiable la fuerza de impacto causada por los atletas en los deportes de combate.

VII. OBJETIVOS

VII-A. *Objetivo General*

Desarrollar un dispositivo de medición de fuerza de impacto generada por los atletas en deportes de combate.

VII-B. *Objetivos específicos*

- Diseñar un dispositivo que incorpore un microcontrolador, sensores y programarlo utilizando el lenguaje Python.
- Escoger de manera adecuada los sensores, softwares y dispositivos más apropiados para registrar de manera efectiva y precisa los valores de fuerza durante el gesto deportivo.
- Desarrollar un sistema de instrumentación funcional que registre la fuerza de impacto durante el gesto deportivo obteniendo datos precisos y confiables a través de acelerómetros, que puedan ser observados en un HMI.
- Evaluar la precisión de los datos obtenidos correspondientes a los movimientos deportivos a través de pruebas de campo.

VIII. MARCO TEÓRICO

VIII-A. Sensores

Los sistemas o instrumentos conocidos como sensores remotos se utilizan para recopilar información viable de un objeto, área o fenómeno a distancia. Los SIG permiten el procesamiento e interpretación de esta información, lo que mejora la comprensión [27].

Los sensores están diseñados para detectar y responder a estímulos ambientales como luz, calor, presión, movimiento y humedad. Funcionan mediante la conversión de estos estímulos en señales eléctricas que los sistemas electrónicos pueden interpretar y analizar, lo que facilita la interacción entre los sistemas digitales y el mundo físico. Estos dispositivos son importantes para una variedad de aplicaciones, desde la automatización industrial hasta la tecnología doméstica, proporcionando datos vitales para el control y monitoreo de procesos. [12].

Además, según el tipo de estímulo que detectan y el método de detección que utilizan, los sensores se clasifican en varios tipos. Donde se pueden mencionar los sensores de presión, como los manómetros y los barómetros, los cuales detectan cambios en la presión en el entorno, mientras que los sensores de temperatura, como los termistores y los termopares, responden a cambios en la temperatura. Así mismo, existen sensores de imagen, como las cámaras digitales, que capturan información visual para ser procesada por algoritmos avanzados, y sensores de proximidad, que identifican la presencia de objetos cercanos sin contacto físico.[18].

Los sensores son esenciales para la tecnología actual porque permiten la creación de sistemas inteligentes y autónomos. Un claro ejemplo, es la medicina, donde los sensores biométricos monitorean constantes vitales en tiempo real, lo que ayuda a realizar diagnósticos precisos y mantener a los pacientes bajo supervisión continua. Los sensores ayudan a la industria a implementar sistemas de producción automatizados y optimización de recursos, lo que aumenta la eficiencia y reduce los costos. Por lo tanto, los sensores son fundamentales para el progreso tecnológico y la innovación en varias industrias [2].

VIII-A1. Celdas de carga: Las celdas de carga son un tipo de transductor de fuerza que pueden medir, convertir y estandarizar una fuerza mecánica de entrada, como carga, peso, fuerza, tensión o compresión, en una señal de salida eléctrica. Esto significa que la señal eléctrica cambia proporcionalmente a medida que aumenta la fuerza aplicada al sensor.

Las celdas de carga generalmente tienen un extremo asegurado a un marco o base, mientras que el otro extremo está libre para unir el elemento que soporta el peso o fuerza que se le ejerza. El cuerpo de la celda de carga se flexiona ligeramente bajo la tensión cuando se aplica presión [25].

VIII-A2. Tipos de Celdas de Carga: Las celdas de carga de compresión tienen un diseño de botón integral. Son ideales para espacios reducidos o limitados. Ofrecen un alto nivel de estabilidad y confiabilidad a largo plazo.

Estas celdas ofrecen una salida sin importar que estén bajo compresión o tensión. Ofrecen una resistencia superior a la carga lateral. Este modelo es ampliamente utilizado en aplicaciones de pesaje de bolsas médicas, así como en aplicaciones de procesos en línea y control automático de retroalimentación.

Medición de peso de tanque, control industrial y de proceso y varias celdas de carga son aplicaciones de su uso. Para adaptarse a áreas restringidas, tienen una construcción de bajo perfil, tal como se observa en la figura 1.

Las aplicaciones que requieren plataformas de control de peso, como básculas de pequeño tamaño, utilizan celdas de carga de punto único. Su capacidad para soportar cargas descentradas es su característica principal.



Figura 1. Celda de carga de plataforma y punto único [logicbus].

VIII-B. Acelerómetros

El acelerómetro muestra cómo una de tecnología más fiable para registrar y almacenar el volumen y nivel de actividad física realizada para un individuo y durante un período de tiempo determinado[elektronik2020acelerometro].En la Figura 2, se muestra un acelerómetro.

En la Figura 2, se muestra un acelerómetro.

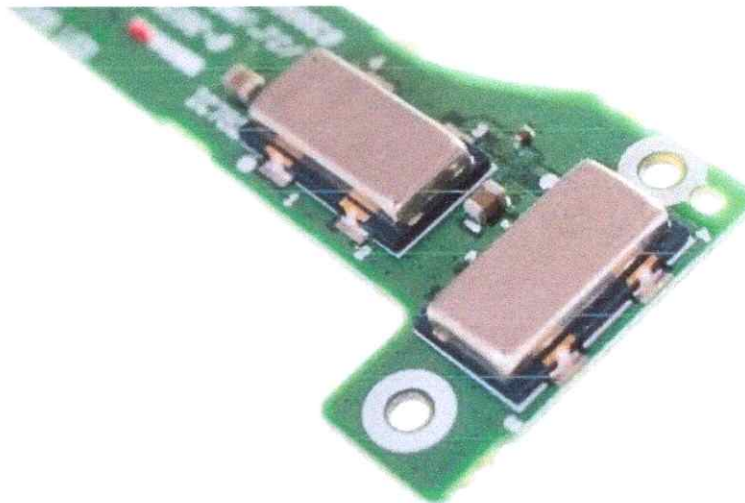


Figura 2. Acelerómetro [barrera2023impacto1].

Un acelerómetro consiste en un dispositivo con masa móvil que al ser perturbado por una aceleración externa genera un desplazamiento proporcional al cociente entre la fuerza aplicada y su rigidez asociada señales como las que se pueden analizar en la figura descrita 3 [14].

VIII-D. Tipo de Programación

VIII-D1. Programación de Sistemas Embebidos: La programación de sistemas embebidos se enfoca en la creación de software específico para dispositivos que están destinados a realizar tareas especializadas en lugar de computadoras convencionales. Estos sistemas están incorporados en una variedad de dispositivos, incluidos automóviles y electrodomésticos, así como equipos médicos y dispositivos de comunicación. La programación de sistemas embebidos implica trabajar con microcontroladores y microprocesadores que ejecutan tareas en tiempo real, optimizando el rendimiento y el consumo de energía. Debido a su eficacia y control simple, C y C++ son los lenguajes de programación más utilizados en este campo. Sin embargo, para algunas aplicaciones, también se pueden usar otros lenguajes como Python [10].

Los desarrolladores de software para sistemas embebidos en este contexto deben tener en cuenta varias cosas al diseñar software para sistemas embebidos, como limitaciones de memoria, capacidad de procesamiento y la necesidad de operar en entornos particulares. El dispositivo debe programarse para funcionar de manera confiable y eficiente, responder a estímulos externos y completar tareas críticas sin interrupciones. Dado que el éxito del sistema embebido depende de una estrecha colaboración entre ambos componentes, la integración del hardware y el software también es crucial. Para garantizar que el sistema embebido cumpla con los requisitos de rendimiento y seguridad establecidos, también es esencial realizar pruebas y depuración en entornos reales [17].

VIII-D2. Componentes clave para la programación de Sistemas Embebidos: De acuerdo con [6], entre los componentes más importantes que se deben tener en cuenta cuando se aplica el tipo de programación de sistemas embebidos, se mencionan los siguientes:

- **Captura de Datos:** La programación debe incluir la configuración y lectura de sensores de fuerza, como celdas de carga o acelerómetros, que detectan el impacto. Esto implica usar microcontroladores o sistemas embebidos como Arduino o Raspberry Pi para recopilar datos en tiempo real. La calibración de los sensores, la adquisición de datos a alta velocidad y la conversión de señales analógicas en digitales son tareas que el código debe realizar para garantizar que los datos capturados sean precisos y confiables.
- **Procesamiento de Señales:** Los algoritmos de procesamiento de señales deben usarse para filtrar el ruido y extraer la información relevante una vez que se recopilan los datos. Para detectar y medir los efectos, pueden usarse algoritmos de detección de picos, filtrado de paso bajo y técnicas de suavizado. Para este propósito, lenguajes de programación como Python, MATLAB o C++ son apropiados porque permiten aprovechar librerías especializadas en análisis de señales, lo que facilita el procesamiento y análisis de datos en tiempo real.
- **Análisis y Almacenamiento de Datos:** Para calcular parámetros importantes como la magnitud del impacto, el tiempo de contacto y la distribución de fuerzas, la programación debe permitir el análisis de los datos procesados. Es posible almacenar estos resultados en la nube o en bases de datos locales para su posterior análisis y comparación. El uso de bases de datos SQL o NoSQL es común para manejar grandes cantidades de datos, asegurando que la información esté organizada y fácilmente accesible para futuros estudios y comparaciones.
- **Visualización de resultados:** Es fundamental crear una interfaz de usuario que permita a los entrenadores y atletas ver los resultados de manera fácil de entender. Esto se puede lograr mediante el uso de marcos de desarrollo web como Django o Flask en Python, o mediante aplicaciones móviles que muestran gráficos, estadísticas y análisis en tiempo real.
- **Integración y Comunicación:** Por último, pero no menos importante, todos estos componentes deben ser integrados y comunicados de manera efectiva por el sistema. Esto puede incluir programar protocolos de comunicación como Bluetooth, Wi-Fi o USB para transmitir datos desde los sensores al dispositivo de procesamiento y desde este al dispositivo de visualización. Para garantizar la interoperabilidad y la escalabilidad del sistema, también pueden ser necesarios protocolos de comunicación en red y programación de APIs. Esto permite una integración fluida y una expansión futura sin problemas.

VIII-E. Tipo de Conectividad

VIII-E1. Conectividad con Sensores: La conectividad con sensores es el proceso completo de establecer y mantener la comunicación entre el sistema central de adquisición de datos y dispositivos de medición física, como acelerómetros o celdas de carga. Puede establecer una conexión física usando cables o inalámbrica usando tecnologías como Bluetooth o Wi-Fi. La movilidad requerida durante las mediciones y la necesidad de reducir las interferencias electromagnéticas son factores que determinan la tecnología de conexión. Los protocolos de comunicación utilizados deben garantizar una transmisión confiable y de baja latencia de las señales de medición para garantizar la precisión en la captura de datos en tiempo real [arguero2020red].

VIII-E2. Raspberry Pi Modelo 4b: Un Raspberry Pi 4b es una plataforma flexible y fácil de usar que combina capacidades de procesamiento con una variedad de opciones de conectividad. El Raspberry Pi 3b tiene su procesador más potente y funciona diez veces más rápido que el de la primera generación de Raspberry Pi. Además, tiene conectividad LAN inalámbrica y Bluetooth, lo que lo convierte en el mejor opción para diseños potentes y conectados. cuenta con puertos USB, Ethernet y Wi-Fi, lo que facilita la integración de sensores y la comunicación con otros dispositivos y servicios conectados a la red. Aplicaciones complejas de adquisición y procesamiento de datos, así como su almacenamiento local antes de su transferencia a la nube, son posibles gracias a su capacidad para ejecutar sistemas operativos completos como Raspbian. Para proyectos que requieren manejo eficiente de datos en tiempo real y acceso a recursos de computación adicionales, es una opción popular debido a su conectividad sólida y adaptable [becerra2020sistema].

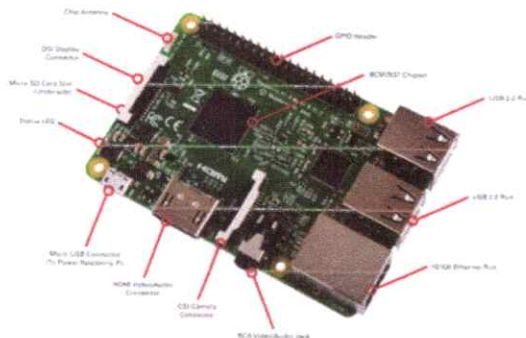


Figura 4. Esquema de conectividad en una Raspberry Pi [becerra2020sistema].

VIII-E3. ESP32: El ESP32 es un microcontrolador de alto rendimiento desarrollado por Espressif Systems, diseñado para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), sistemas embebidos y automatización. Su arquitectura se basa en un procesador dual-core Xtensa LX6, lo que le permite ejecutar múltiples tareas en paralelo con alta eficiencia. Además, el ESP32 incorpora módulos de Wi-Fi y Bluetooth integrados, lo que lo convierte en una solución versátil y flexible para aplicaciones que requieren conectividad inalámbrica [26].

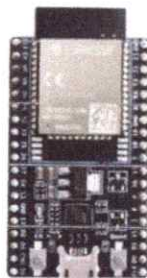


Figura 5. Módulo ESP32 [26]

IX. TIPOS DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Existen diversas clasificaciones de las fuentes de alimentación según su función y características:

IX-A. Fuentes de alimentación lineales

Estas fuentes buscan regular la salida de voltaje utilizando componentes pasivos como resistencias y transformadores. Aunque son más simples en su diseño, tienden a ser menos eficientes en comparación con otras tecnologías, ya que disipan gran parte de la energía en forma de calor [9].

IX-B. Fuentes de alimentación conmutadas (SMPS)

Utilizan circuitos electrónicos para convertir y regular la energía eléctrica. Son más eficientes que las fuentes lineales porque operan a altas frecuencias y minimizan la pérdida de energía. Se utilizan comúnmente en dispositivos como computadoras, sistemas de telecomunicaciones y equipos de automatización [8].

IX-C. Fuentes de alimentación ininterrumpida (UPS)

Proporcionan energía de respaldo en caso de fallo de la fuente principal, garantizando la continuidad del funcionamiento de dispositivos críticos. Estas fuentes incluyen baterías recargables que se activan cuando hay una interrupción en el suministro eléctrico [24].

IX-C1. Componentes principales: Una fuente de alimentación consta de varios componentes esenciales:

IX-C2. Transformador: En fuentes de alimentación lineales, convierte la tensión de entrada en niveles más bajos o más altos según sea necesario [1].

IX-C3. Rectificador: Convierte la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC), la cual es necesaria para la mayoría de los dispositivos electrónicos [23].

IX-C4. Filtro: Elimina las ondulaciones o variaciones de voltaje en la salida del rectificador para asegurar un voltaje continuo estable [5].

IX-C5. Regulador de voltaje: Asegura que el voltaje de salida sea constante, independientemente de las fluctuaciones en la entrada o en la carga conectada.

IX-C6. Conectividad para Almacenamiento en la Nube: El proceso de transferir datos capturados por sensores o procesados por sistemas embebidos a plataformas de almacenamiento remoto accesibles a través de Internet se conoce como conectividad para almacenamiento en la nube. Los datos se pueden enviar de manera segura y eficiente a servicios de almacenamiento en la nube como AWS S3, Google Cloud Storage o Microsoft Azure utilizando protocolos estándar como HTTP, HTTPS o APIs específicas. Esta conexión permite la gestión centralizada de grandes cantidades de datos, lo que garantiza su disponibilidad y accesibilidad desde una variedad de lugares. Además, facilita el desarrollo de aplicaciones inteligentes que requieren acceso rápido a datos en tiempo real e históricos, así como la colaboración entre equipos [19].

IX-C7. Amplificador Hx711: Es un circuito integrado (IC) diseñado específicamente para aplicaciones de medición de precisión, particularmente para la adquisición de datos de celdas de carga. Este dispositivo es un convertidor analógico-digital (ADC) de 24 bits que se utiliza comúnmente en sistemas de pesaje digital y plataformas de medición de fuerza, donde se requieren ampliaciones precisas de señales muy débiles generadas por transductores resistivos. [21].

IX-C8. Conectividad con Interfaces de Usuario y Visualización: Para transferir datos procesados desde sistemas embebidos o almacenados en la nube a aplicaciones accesibles por usuarios finales, como interfaces web o móviles, se necesitan canales efectivos para la conectividad con interfaces de usuario y visualización. Para garantizar la entrega oportuna y precisa de gráficos, estadísticas y análisis pertinentes, esta comunicación utiliza tecnologías de red como redes Wi-Fi o móviles. Se pueden crear interfaces interactivas y dinámicas que permitan a entrenadores, atletas o investigadores interpretar y tomar decisiones basadas en datos actualizados en tiempo real utilizando marcos de desarrollo web [sanchez2024desarrollo].

IX-D. Modelado Matemático

Dado el contexto de la presente investigación, basada en el desarrollo de un dispositivo de medición de fuerza de impacto en deportes de combate, el modelado de la dinámica del impacto es el más relevante y prioritario. Este modelo se centra en describir cómo la fuerza se transmite y se distribuye durante un golpe, lo cual es esencial para entender y cuantificar las características del impacto generado por los atletas.

IX-D1. Modelado de la Dinámica del Impacto: De acuerdo con [camargo2017modelo], el modelado de la dinámica del impacto implica el uso de la Segunda Ley de Newton y las ecuaciones del movimiento para representar matemáticamente el comportamiento del impacto. En este caso, el impacto se puede modelar como un sistema masa-resorte-amortiguador, que describe la interacción entre el objeto impactante (como el puño o el pie del atleta) y la superficie de impacto.

IX-D2. Ecuación de Movimiento:

$$F(t) = m \cdot \frac{d^2x(t)}{dt^2} + c \cdot \frac{dx(t)}{dt} + k \cdot x(t) \quad (1)$$

Donde:

- $F(t)$ es la fuerza de impacto en función del tiempo.
- m es la masa del objeto que impacta.
- c es el coeficiente de amortiguamiento.
- k es la constante del resorte.
- $x(t)$ es la posición en función del tiempo.

IX-D3. Aplicación al Dispositivo de Medición:

IX-D3a. 1) Captura de Datos: Los sensores de fuerza, como las celdas de carga, registran la fuerza de impacto a intervalos de tiempo muy pequeños, generando una serie temporal de datos que representan [camargo2017modelo].

IX-D3b. 2) Procesamiento de Señales: Los datos capturados se procesan para filtrar el ruido y obtener una señal limpia que represente fielmente la fuerza de impacto. Esto puede incluir el uso de filtros de paso bajo para eliminar componentes de alta frecuencia que no son relevantes para el análisis [camargo2017modelo].

IX-D3c. 3) Cálculo de Parámetros Clave: A partir de la señal filtrada, se pueden calcular parámetros importantes como la magnitud máxima de la fuerza, el tiempo de contacto (duración del impacto) y la energía del impacto [camargo2017modelo].

Magnitud Máxima de la Fuerza

$$F_{\max} = \text{máx}(F(t)) \quad (2)$$

Energía del Impacto

$$E = \int_{t_0}^{t_1} \bar{F}(t) \cdot v(t) dt \quad (3)$$

Donde $v(t)$ es la velocidad en función del tiempo y t_0, t_1 son los tiempos de inicio y fin del impacto.

A partir de este modelado, se proporciona una comprensión detallada de las características del impacto, permitiendo a los entrenadores y atletas obtener información valiosa sobre la efectividad y la fuerza de los golpes, lo cual es importante para mejorar el rendimiento y la seguridad en deportes de combate.

IX-E. Lenguaje de Programación

IX-E1. MicroPython: MicroPython es un entorno de programación que permite ejecutar Python en microcontroladores y sistemas embebidos. MicroPython, diseñado para dispositivos con recursos limitados, permite una implementación rápida y efectiva de Python 3, manteniendo gran parte de su funcionalidad. Esto permite que los desarrolladores utilicen Python para programar hardware de bajo nivel, como sensores, actuadores y otros componentes electrónicos. MicroPython facilita el desarrollo rápido de prototipos y aplicaciones embebidas porque puede interactuar directamente con los pines de entrada y salida digitales [22]. Dentro del mismo contexto, MicroPython también incluye una biblioteca estándar para microcontroladores que ofrece módulos que permiten la manipulación de hardware, el manejo de archivos en sistemas de almacenamiento integrados y la comunicación a través de protocolos comunes como I2C, SPI y UART. Muchas plataformas de hardware, como placas ESP8266, ESP32 y Pyboard, son compatibles con este entorno [hernandez2024embedded].

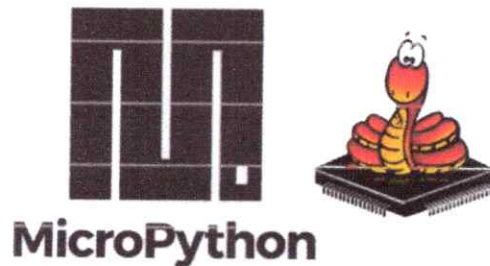


Figura 6. MicroPython. Información adaptada de [hernandez2024embedded].

IX-E2. Breve Historia de MicroPython: Damien George, un físico e ingeniero británico, creó el lenguaje de programación MicroPython en 2013. George presentó la idea de incorporar Python, un lenguaje de programación popular y fácil de usar, a los microcontroladores como parte del proyecto, que comenzó con una campaña exitosa en Kickstarter. Su objetivo era proporcionar una herramienta que facilitara el desarrollo de proyectos en sistemas embebidos e Internet de las cosas (IoT) al combinar la facilidad y la potencia de Python con la capacidad de interactuar directamente con hardware de bajo nivel. La versión inicial de MicroPython se lanzó junto con el microcontrolador Pyboard, creado específicamente para ejecutar este lenguaje [quirarte2020implementacion].

MicroPython ha sido ampliamente adoptado desde su lanzamiento y se ha convertido en una variedad de plataformas de hardware, como ESP8266, ESP32 y STM32. La comunidad de MicroPython ha crecido significativamente, contribuyendo al desarrollo de la biblioteca estándar y mejorando la compatibilidad con una amplia gama de dispositivos. El aumento ha sido impulsado por la demanda de aplicaciones de Internet de las cosas y herramientas de programación accesibles para la educación electrónica y programación. MicroPython ha demostrado a lo largo de los años ser una solución versátil y efectiva para la programación de microcontroladores, manteniendo la filosofía de Python fácil de aprender y usar [quirarte2020implementacion].

La capacidad de adaptarse a las demandas de una comunidad cada vez más diversa ha sido un rasgo distintivo de la evolución de MicroPython. El lenguaje ha mejorado en eficiencia, nuevas funcionalidades y soporte para una mayor variedad de plataformas de hardware con cada nueva versión. Su desarrollo continuo ha dependido de la colaboración abierta y el apoyo de la comunidad. MicroPython ha sido adoptado por proyectos educativos, startups de IoT y entusiastas de la tecnología debido a su facilidad de uso y su capacidad para reducir los tiempos de desarrollo. Este lenguaje se ha consolidado como una herramienta fundamental para la programación de microcontroladores, permitiendo a desarrolladores de todos los niveles de experiencia desarrollar aplicaciones innovadoras y eficientes en el ámbito de los sistemas embebidos [quirarte2020implementacion].

IX-F. Anatomía

La anatomía es el estudio de la estructura de los seres vivos, es decir, la ubicación y disposición de sus órganos (como huesos, músculos y órganos internos) y las relaciones que existen entre ellos. La estructura de los seres vivos también se llama anatomía. Este término es muy utilizado en campos científicos como la medicina y la biología. [editorial2021anatomia].

La anatomía es el estudio detallado de la estructura de los seres vivos y es esencial para campos como la medicina y la biología, proporcionando una base sólida para entender funciones corporales complejas, incluyendo la producción de fuerza muscular.



Figura 7. Anatomía muscular [editorial2021anatomia].

IX-F1. Fuerza Muscular: La fuerza muscular es la capacidad de producir tensión intramuscular ante una resistencia, independientemente de si se está realizando un movimiento. En otras palabras, es la capacidad de levantar, empujar o tirar de un determinado peso en un solo movimiento utilizando los músculos [4].

Existen excepciones en las cuales un deportista consigue reclutar de manera selectiva las unidades motoras de umbral alto para generar mayor rapidez, fuerza y potencia. Estas excepciones se dan particularmente en movimientos explosivos o balísticos, como los que se ejecutan en los deportes de combate. Ahora que se ha definido el cómo se produce la fuerza, se debe definir que es fuerza. [7].

La fuerza muscular es una habilidad clave tanto en actividades cotidianas como en deportes, con particular importancia en aquellos que requieren movimientos explosivos, y su comprensión es esencial para el desarrollo de programas de entrenamiento específicos.

Daremos dos definiciones de fuerza: Fuerza de manera general es la causa que modifica el estado de movimiento o reposo de un cuerpo, es decir para, inicia, acelera, desacelera o cambia la dirección de un objeto. Fuerza en del deporte la consideraremos como la acción de superar o contrarrestar fuerzas externas a través del movimiento muscular.

Por otro lado, fuerza interna se forma mediante una contracción muscular exteriorizada a través del sistema esquelético. A su vez, fuerza externa la definimos como la resistencia realizada en contra del individuo, esta puede ser realizada por la gravedad, inercia o algún adversario.

A nivel deportivo presentamos diferentes tipos de fuerza: Rápida, de resistencia y máxima. Siendo esta última la que se busca medir en la presente investigación. Los atletas de deportes de combate realizan todos los tipos de fuerza debido a la variedad de movimientos que ejecutan en diferentes momentos del encuentro o entrenamiento deportivo. En la figura 8. podemos observar un estudio de fuerza en el país.

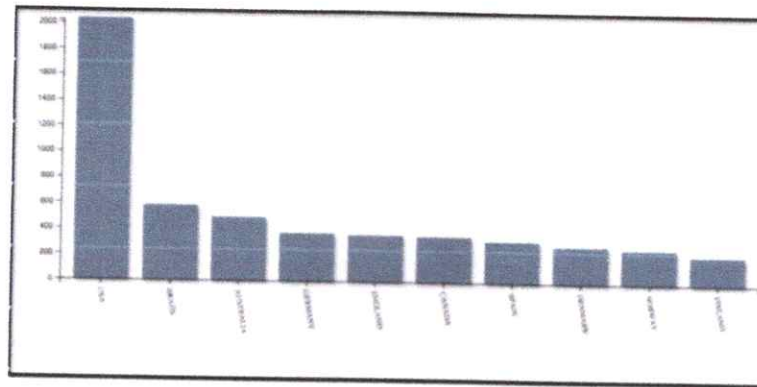


Figura 8. Estudio de Fuerza en el país [7].

IX-F2. Entrenamiento Deportivo: El entrenamiento deportivo constituye un pilar fundamental en la mejora del rendimiento atlético y en la optimización de las habilidades físicas y técnicas de los deportistas. Este proceso involucra la planificación y ejecución sistemática de actividades físicas, técnicas, tácticas y psicológicas con el propósito de desarrollar y potenciar las capacidades físicas y mentales requeridas para la práctica deportiva.

IX-F3. Deportes de Combate: Los deportes de combate abarcan una amplia gama de disciplinas que incluyen artes marciales tradicionales como el judo y el karate, así como deportes de combate modernos como el boxeo y el MMA (Mixed Martial Arts) [25].

Los deportes de combate son un grupo de disciplinas que enfatizan la competencia física directa entre dos o más participantes. La clasificación de estos deportes en diferentes estilos y modalidades engloba las artes marciales tradicionales y los deportes de combate modernos.

El contacto físico no solo pone a prueba la resistencia y la fuerza de los competidores, sino que también resalta la importancia de la técnica y la estrategia en la ejecución de los movimientos. La capacidad de anticipar y reaccionar a las acciones del oponente, así como la destreza en la aplicación de las técnicas aprendidas, son cruciales para el éxito en estas disciplinas [15].

X. TIPOS DE DEPORTES DE COMBATE

En el contexto de deportes de combate, a continuación, se detallan los más conocidos:

X-A. Muay Thai

El muay thai, también conocido como boxeo tailandés, es un deporte de combate que utiliza golpes con los puños, codos, rodillas y pies. Es conocido por su dureza y la eficacia de sus técnicas en situaciones de combate real [choi2020evolution].

Este deporte es conocido por su diversidad de técnicas de golpes y su énfasis en el combate cuerpo a cuerpo, mismas que lo convierten en una práctica valiosa para la autodefensa como para el desarrollo personal y la competencia deportiva.

X-B. Boxeo

El boxeo es un deporte de combate en el que los atletas, utilizando guantes protectores, intentan golpear al oponente mientras evitan ser golpeados. Este deporte tiene una larga historia y es uno de los más populares y antiguos del mundo, con competiciones tanto amateurs como profesionales [smith20].

El boxeo, además de ser una disciplina emocionante y desafiante, ofrece numerosos beneficios físicos y mentales, convirtiéndolo en una práctica valiosa para deportistas que buscan mejorar su condición física.

X-C. Karate

Según Nakayama et al. (2019), el karate es un arte marcial japonés que utiliza golpes con manos y pies y técnicas de bloqueo y defensa. El kárate es uno de los deportes de los Juegos Olímpicos de Tokio 2020 y ha ganado más reconocimiento internacional.

Este deporte se caracteriza por ser una disciplina que enfatiza la disciplina, el respeto y sobre todo el desarrollo del carácter, no solo siendo una técnica física sino también buscando el desarrollo personal del jugador.

X-D. Taekwondo

El taekwondo es un arte marcial coreano rápido y enérgico, conocido por sus técnicas de patadas. El deporte olímpico se estableció en el año 2000 y sus competiciones constan tanto de formas como de combate [choi2020evolution].

Este arte marcial brinda a los deportistas beneficios físicos, mentales y espirituales; su avance con variedad de técnicas y principios filosóficos lo hacen una práctica valiosa.

XI. IMPORTANCIA DEL RENDIMIENTO Y EVALUACIÓN EN DEPORTES DE COMBATE

El rendimiento en los deportes de combate es crítico para el éxito de los atletas, y la evaluación precisa es esencial para el desarrollo de programas de entrenamiento efectivos. Las innovaciones en la evaluación del rendimiento, como los dispositivos de medición de fuerza, han proporcionado nuevas formas de monitorear y mejorar las habilidades de los atletas.

XII. BIOMECÁNICA DEL IMPACTO EN DEPORTES DE COMBATE

El análisis de la biomecánica en los deportes de combate es esencial para comprender la eficiencia de las técnicas, optimizar el rendimiento y reducir el riesgo de lesiones [sun2024analisis].

XII-A. Técnicas de Golpeo y Patadas

Se utiliza la biomecánica para el análisis de las técnicas de golpe y patadas, implicando estudiar la cinemática y la cinética de los movimientos, lo que permite determinar las fuerzas generadas durante los puñetazos y patadas e identificar formas de optimizar su potencia y precisión [sun2024analisis].

XII-B. Balance y Estabilidad

Se aplica el análisis biomecánico para analizar el equilibrio y la estabilidad durante la práctica del deporte, tanto en posición estática como dinámica.

XII-C. Defensa y Bloqueo

Utilizamos la biomecánica para analizar las técnicas de defensa y bloqueo, evaluando aspectos como la velocidad de reacción, el ángulo de bloqueo y la fuerza aplicada para optimizar la defensa y minimizar el impacto de los ataques de reacción.

XII-D. Lesiones y Prevención

La biomecánica se utiliza al tratar con las lesiones asociadas directamente con la práctica de los deportes de combate, implementando estrategias de prevención.

XII-E. Equipamiento de Protección

Se aplica la biomecánica en el diseño y evaluación del equipamiento de protección del deportista, garantizando la seguridad durante la competencia.

La aplicación de la biomecánica en los deportes de combate es fundamental para mejorar la técnica, la seguridad y el rendimiento de los deportistas.

XIII. TECNOLOGÍAS Y MEDICIÓN DE LA FUERZA

La fuerza medida en el contexto deportivo se realiza con sensores y transductores que convierten las fuerzas mecánicas en señales eléctricas mensurables. Los dos dispositivos utilizados con mayor frecuencia para la recolección de datos en el campo de la fuerza son los sensores de fuerza y los acelerómetros. La fuerza es medida en Newton (N).

En la mecánica clásica, la fuerza se define como "acción capaz de cambiar el tamaño de un objeto". Movimiento de la materia crea una fuerza con propiedades vectoriales y se caracteriza por el punto de acción, dirección e intensidad. Por otra parte, un conjunto de fuerzas en el punto se puede simplificar a un sistema de 3 fuerzas ortogonales F_x - F_y - F_z , y 3 momentos entre ellos y sobre dicho eje M_x - M_y - M_z . Este conjunto de imágenes se llama la fuerza aplicada durante este tiempo. Figura 9

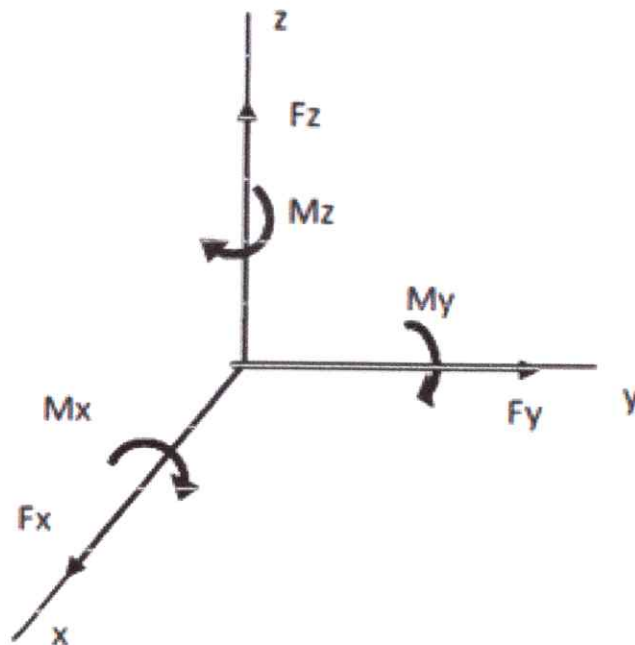


Figura 9. Conjunto de fuerzas que se aplican en un punto Adaptado de [13].

XIII-A. Dispositivos de Medición

Existen varios tipos de formas de medir la fuerza, tales como dispositivos, plataformas de fuerzas acelerómetros y giroscopios. Como se mencionó las plataformas siendo una de las formas de medir la fuerza, Según, [16] se utilizan principalmente en laboratorios, mientras que los dispositivos portátiles permiten que se mida en el campo, estos dispositivos que tienen contacto directo nos brindan datos más precisos acerca de las fuerzas de impactos ocasionada.

XIII-A1. Dinamómetro: El dinamómetro consta de un sensor que incluye un cuerpo de prueba metálico que acepta la fuerza a medir y se somete a deformación elástica bajo su influencia. En los sensores modernos, esta deformación se transfiere a un pequeño circuito conectado al cuerpo de prueba, cuyo objetivo es cambiar su resistencia [13].



Figura 10. Adaptado de Aname [13].

XIII-A2. Partner Bertec (Plataforma): Las plataformas BERTEC está diseñada con tecnología extensómetro y tiene una salida de datos digital para garantizar una calidad de señal insuperable. Diferentes tamaños, diferentes rangos de medición y amplificadores de señal con salida analógica o digital hacen de estas plataformas soluciones ideales para el análisis de la fuerza de la marcha, el equilibrio, la ergonomía y el análisis del movimiento [3].



Figura 11. Plataforma Bertec [3].

XIV. MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico describe los procedimientos y técnicas utilizadas en la investigación para desarrollar un dispositivo de medición de fuerza de impacto en deportes de combate. Este proyecto emplea Python y MicroPython en una plataforma Raspberry Pi. La metodología se estructura en varias etapas clave, desde la planificación hasta la implementación y prueba del dispositivo.

XIV-A. Identificación de las Necesidades

La identificación de las necesidades es un proceso crítico y fundamental en el desarrollo de sistemas de monitoreo y análisis de datos en tiempo real, especialmente en entornos donde la precisión y la eficiencia son esenciales.

En el contexto de este proyecto, se ha detectado la necesidad de implementar una solución integrada que permita la captura, procesamiento y análisis de datos provenientes de sensores de fuerza. Esto surge de la demanda por una herramienta que no solo capture datos con alta precisión, sino que también procese y visualice estos datos de manera eficiente para facilitar la toma de decisiones informadas.

Específicamente, la necesidad radica en diseñar un sistema que utilice MicroPython en una Arduino Due para la captura de datos de sensores, y Python en una Raspberry Pi para el procesamiento, análisis y visualización de

estos datos. Esta configuración es requerida debido a la necesidad de un sistema que ofrezca una respuesta rápida y precisa, minimizando la latencia entre la captura y el análisis de los datos. Además, se necesita una plataforma que sea capaz de filtrar ruidos de las señales de los sensores, calcular parámetros clave como la magnitud máxima de la fuerza, el tiempo de contacto y la energía del impacto, y presentar estos datos de una manera que sea fácil de interpretar por los usuarios.

Estas necesidades son impulsadas por la creciente demanda en diversos campos, incluyendo la investigación científica, la ingeniería y la industria, donde la capacidad de monitorear y analizar fuerzas de impacto en tiempo real puede conducir a mejoras significativas en la calidad y eficiencia de los procesos.

XIV-B. Etapas del Proyecto

| Fase | Actividad | Duración |
|----------------------------|--|-------------------|
| Revisión de Literatura | Compilación y análisis de información | 2 semanas |
| Desarrollo de Hardware | Selección y configuración de componentes | 4 semanas |
| Desarrollo de Software | Programación en MicroPython y Python | 6 semanas |
| Integración y Pruebas | Ensamblaje y pruebas iniciales y de campo | 4 semanas |
| Análisis de Datos | Procesamiento y análisis estadístico de los datos | 3 semanas |
| Validación y Documentación | Validación del dispositivo y creación de documentación | 3 semanas |
| Total | | 22 semanas |

Cuadro II
ETAPAS DEL PROYECTO.

XIV-C. Revisión de Literatura

La revisión de literatura es una etapa esencial en el desarrollo de cualquier proyecto de investigación y desarrollo tecnológico. Durante este proceso, se lleva a cabo una compilación y análisis exhaustivo de la información disponible en fuentes académicas, científicas y técnicas relevantes al tema de estudio. En el contexto del presente proyecto, enfocado en la captura, procesamiento y análisis de datos de sensores utilizando MicroPython en Arduino Due y Python en Raspberry Pi, esta revisión abarcará un período de dos semanas.

[11] En su libro ofrecen una visión exhaustiva sobre el uso de MicroPython en sistemas embebidos. Aborda desde la instalación y configuración básica hasta aplicaciones avanzadas en microcontroladores, incluyendo ejemplos específicos de implementación en la plataforma Arduino Due. Siendo útil para entender cómo MicroPython puede ser utilizado para el procesamiento de datos en tiempo real en dispositivos.

[20] En este artículo se ofrece una visión detallada sobre cómo se utiliza MicroPython en microcontroladores, incluidos los ejemplos de aplicación en plataformas como Arduino Due. Proporciona ejemplos de código y casos de uso prácticos que ilustran la capacidad de MicroPython para gestionar y procesar datos de sensores en tiempo real.

Una sección clave del artículo se centra en la aplicación de MicroPython en la plataforma Arduino Due. El Arduino Due, basado en un microcontrolador ARM Cortex-M3, es un dispositivo popular en el ámbito de los sistemas embebidos debido a su capacidad de procesamiento y flexibilidad. El artículo detalla cómo se configura MicroPython en el Arduino Due, proporcionando pasos específicos para la instalación y configuración del entorno.

El artículo [20] explora técnicas avanzadas para el desarrollo de aplicaciones en la plataforma Raspberry Pi utilizando el lenguaje de programación Python. La Raspberry Pi es una computadora de placa única popular en el mundo de la informática embebida, conocida por su flexibilidad y capacidad para ejecutar aplicaciones de manera efectiva. Este artículo se centra en cómo aprovechar al máximo las capacidades de la Raspberry Pi mediante técnicas avanzadas de programación en Python.

El objetivo de esta revisión de literatura es identificar y consolidar el conocimiento existente que pueda aplicarse al desarrollo del proyecto, además de detectar brechas en la investigación actual que el proyecto podría abordar. Esto permitirá definir una base teórica sólida, garantizar el uso de las mejores prácticas y tecnologías disponibles, y establecer un marco de referencia claro para el desarrollo de las fases subsecuentes del proyecto. Al finalizar la revisión de literatura, se espera tener una comprensión profunda y detallada del estado del arte en las áreas relevantes, lo que facilitará la toma de decisiones informadas y la planificación efectiva de las actividades de desarrollo del proyecto.

XIV-D. Diseño de la Investigación

La investigación sigue un diseño experimental y de desarrollo tecnológico, con el objetivo de crear un dispositivo de medición de fuerza de impacto y evaluar su rendimiento. Se aplicarán las siguientes fases:

- Revisión de la Literatura: Compilación de información sobre tecnologías de medición de fuerza, microcontroladores, y aplicaciones en deportes de combate.
- Desarrollo de Hardware: Selección y configuración de sensores, microcontroladores y otros componentes electrónicos.
- Desarrollo de Software: Programación de algoritmos de captura y procesamiento de datos utilizando Python y MicroPython.
- Integración y Pruebas: Ensamblaje del dispositivo y realización de pruebas para evaluar su precisión y eficacia.
- Análisis de Datos: Interpretación de los datos obtenidos y ajuste del sistema según sea necesario.
- Validación y Documentación: Validación del dispositivo en condiciones reales y documentación completa del proyecto.

XIV-E. Fase de Desarrollo de Hardware

XIV-E1. Elección de materiales: Necesidades:

- Medir la fuerza del golpe del deportista.
- Procesamiento fácil de datos.
- Visualizar datos.
- Instalación fácil.
- Cómodo para el usuario.
- Económico.
- Resistente.

XV. SOLUCIONES

XV-A. Para medir fuerza:

- Celdas de carga.
- Acelerómetros.
- Resortes.

XV-B. Microcontroladores:

- Arduino
- ESP32
- PIC

XV-C. Visualización y procesamiento de datos:

- LCD
- Raspberry pi 3 con pantalla.

| PARÁMETROS | CELDA DE CARGA | ACELERÓMETROS | RESORTES |
|------------------------|----------------|---------------|-----------|
| Medir fuerza | 5 | 3 | 3 |
| Procesamiento de datos | 5 | 4 | 3 |
| Instalación fácil | 5 | 5 | 2 |
| Resistente | 5 | 2 | 5 |
| Económico | 3 | 4 | 3 |
| Total | 23 | 18 | 16 |

Cuadro III
MATRIZ DE SOLUCIÓN PARA FUERZA.

XVI. MATRIZ DE SOLUCIÓN PARA MEDIR FUERZA

En esta matriz se calificará de 1 a 5 cada componente, siendo 1 menos recomendable y 5 más recomendable.
Tabla creada por el autor.

Basado en las calificaciones que nos da la matriz de solución, se escogerá utilizar celdas de carga, siendo esta la más recomendable en base al proyecto.

XVII. MATRIZ DE SOLUCIÓN PARA ESCOGER EL MICROCONTROLADOR

En esta matriz se calificará de 1 a 5 cada componente en base a datos y experiencias personales, siendo 1 menos recomendable y 5 más recomendable.

| PARÁMETROS | Arduino | ESP32 | PIC |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Cómodo para el usuario | 4 | 4 | 2 |
| Conectividad | 4 | 5 | 3 |
| Procesamiento de datos | 5 | 5 | 3 |
| Instalación fácil | 5 | 5 | 4 |
| Resistente | 4 | 5 | 3 |
| Económico | 3 | 3 | 5 |
| Total | 25 | 27 | 20 |

Cuadro IV

MATRIZ DE SOLUCIÓN PARA EL MICROCONTROLADOR.

Basado en las calificaciones que nos da la matriz de solución, se escogerá utilizar un ESP32, siendo este el más recomendable en base al proyecto, ya que nos ofrece mejor procesamiento de datos, mayor resistencia y mejor conectividad.

XVIII. MATRIZ DE SOLUCIÓN PARA VALIDAR Y PROCESAR LOS DATOS

En esta matriz se calificará de 1 a 5 cada componente en base a datos y experiencias personales, siendo 1 menos recomendable y 5 más recomendable.

| PARÁMETROS | Raspberry Pi 3 con pantalla | Pantalla LCD |
|------------------------|-----------------------------|--------------|
| Cómodo para el usuario | 3 | 5 |
| Procesamiento de datos | 5 | 1 |
| Instalación fácil | 4 | 5 |
| Resistente | 5 | 3 |
| Económico | 3 | 5 |
| Total | 20 | 19 |

Cuadro V

MATRIZ DE SOLUCIÓN PARA VISUALIZACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

En esta matriz se decidirá utilizar el Raspberry Pi 4b, ya que a pesar de que la diferencia entre las opciones es de un punto y la pantalla LCD es más económica, lo que marca la diferencia es la capacidad de procesar datos y mostrarlos, ofreciendo una interfaz gráfica que será más llamativa para el usuario.

XIX. DIAGRAMA DE BLOQUE DE FUNCIONAMIENTO

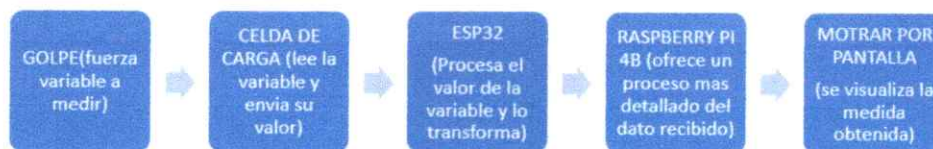


Figura 12. Diagrama de Bloques diseñado por autores.

XIX-A. Selección de Componentes

XIX-A1. Sensores de Fuerza: Se utilizarán celdas de carga y acelerómetros para medir la fuerza de impacto.

XIX-A2. Microcontrolador Raspberry Pi: Se selecciona la Raspberry Pi debido a su capacidad de procesamiento y múltiples opciones de conectividad (USB, Ethernet, Wi-Fi).

XIX-A3. Placa Esp32: Se empleará para la integración y procesamiento inicial de los datos de los sensores.

XIX-B. Desarrollo de Software

La fase de desarrollo de software abarca la programación de los componentes necesarios para capturar, procesar y visualizar los datos de los sensores. Este desarrollo se divide en dos subfases principales: programación en MicroPython y Python, y desarrollo de algoritmos de procesamiento de señales. A continuación, se describen estas subfases con casos de uso específicos.



Figura 13. Diseño de la interfaz del equipo propiedad Autores

XIX-B1. Programación en MicroPython y Python:

XIX-B1a. MicroPython en Arduino Due: La Arduino Due se programará utilizando MicroPython para gestionar la captura y el procesamiento inicial de las señales de los sensores en tiempo real. Los sensores de fuerza estarán conectados a la Arduino Due, que se encargará de leer y enviar los datos a la Raspberry Pi para un análisis más profundo.

XIX-B1b. Python en Raspberry Pi: En la Raspberry Pi, se desarrollarán scripts en Python que recibirán, procesarán, analizarán y visualizarán los datos en tiempo real. Para el procesamiento y la visualización de datos se utilizarán bibliotecas como *NumPy*, *Pandas* y *Matplotlib*.

XX. DISEÑO DE EQUIPO

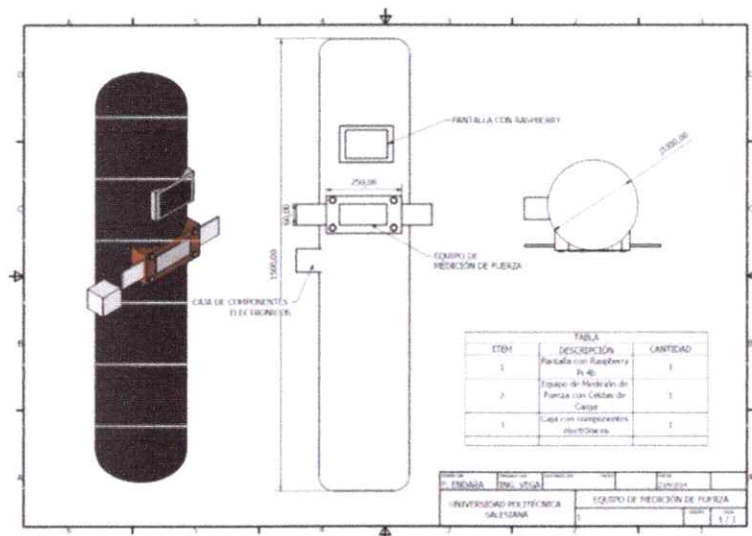


Figura 14. Plano diseñado por autores.

XX-A. Componentes

XX-A1. Pantalla con Raspberry Pi 4B: La pantalla conectada a la Raspberry Pi 4B sirve como la interfaz visual donde se muestran los resultados de las mediciones de fuerza. La Raspberry Pi también actúa como el cerebro del sistema, coordinando la adquisición de datos, el procesamiento de señales y el manejo de la interfaz de usuario.

XX-A2. Equipo de Medición de Fuerza con Celdas de Carga: El sistema cuenta con celdas de carga que están integradas para medir los impactos. Estas celdas transforman las fuerzas mecánicas en señales eléctricas proporcionales a la magnitud de la fuerza aplicada. Estas señales eléctricas son luego transmitidas a un amplificador (como el HX711), que aumenta la señal para que pueda ser procesada correctamente por la Raspberry Pi.

XX-A3. Caja de Componentes Electrónicas: En esta caja se alojan los componentes clave para el funcionamiento del sistema de medición:

- Amplificador HX711: Utilizado para amplificar las señales débiles provenientes de las celdas de carga.
- WiFi: El sistema está diseñado para conectarse a través de una red WiFi local.
- Servidor Web: La ESP32 corre un pequeño servidor web que permite acceder a una interfaz desde cualquier dispositivo en la misma red local.
- Fuentes de alimentación y conexiones.

XX-B. Funcionamiento del Sistema

El sistema sigue los siguientes pasos de funcionamiento:

1. El usuario golpea el equipo, generando una señal eléctrica a través de las celdas de carga.
2. La señal es amplificada por el HX711 y transmitida a la Raspberry Pi.
3. La Raspberry Pi procesa la información y la despliega en tiempo real en una pantalla o de forma remota vía WiFi.

XX-B1. Actualización de la Caja de Componentes: Se incluyen amplificadores HX711, el microcontrolador ESP32, fuentes de alimentación, y las conexiones necesarias entre los sistemas para asegurar la correcta transmisión y procesamiento de datos.

XXI. SIMULACIÓN

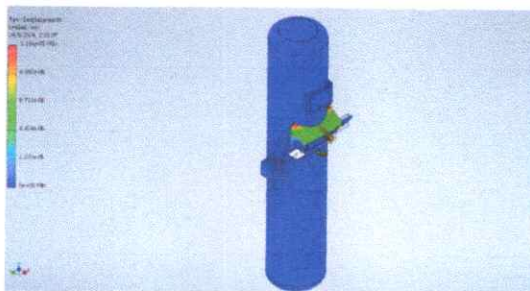


Figura 15. Simulación diseñado por autores.

XXI-A. Conversión de Kilogramos a Newtons (Fuerza)

Cuando se golpea el equipo, las celdas de carga miden el peso equivalente del golpe en kilogramos, pero para el análisis de la fuerza se convierte a Newtons.

$$F = m \times g$$

Donde F es la fuerza en Newtons (N), m es la masa en kilogramos (kg) y g es la gravedad terrestre ($9,81 \text{ m/s}^2$).

XXI-B. Energía Cinética (KE)

La energía cinética mide la energía de un objeto en movimiento antes del impacto:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

donde KE es la energía en julios (J), m la masa en kg y v la velocidad en m/s .

XXI-C. Trabajo Realizado (W)

El trabajo realizado en el equipo durante el desplazamiento se calcula con:

$$W = F \times d$$

donde W es el trabajo en julios (J), F la fuerza en Newtons (N) y d el desplazamiento en metros (m).

XXI-D. Tensión o Stress (σ)

La tensión mide la fuerza distribuida sobre un área:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

donde σ es la tensión (Pa), F es la fuerza (N) y A el área de impacto (m^2).

XXI-E. Frecuencia Natural de Vibración

La frecuencia natural de oscilación se calcula con:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

donde f_n es la frecuencia en Hertz (Hz), k es la rigidez en N/m y m es la masa en kg.

XXI-F. Coeficiente de Restitución (COR)

El coeficiente de restitución mide la elasticidad de un golpe:

$$COR = \frac{v_f}{v_i}$$

donde v_f es la velocidad final tras el impacto y v_i la velocidad inicial.

XXII. DISEÑO DEL CIRCUITO

XXII-A. Componentes del Circuito

- ESP32: Procesa las señales de las celdas de carga y controla la conectividad inalámbrica.
- Celdas de carga de 50 kg: Miden la fuerza del impacto.
- Amplificador HX711: Amplifica las señales de las celdas de carga.
- Fuente de alimentación: Proporciona energía al sistema.
- Resistencias, LEDs, pulsadores, conectores y cables.

XXII-B. Esquema del Circuito

El diseño del circuito incluye la conexión de los componentes para garantizar la captura precisa de las señales y su procesamiento posterior.

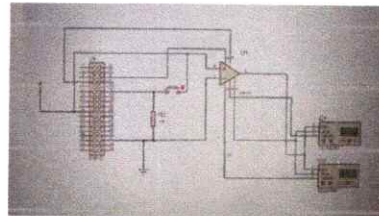


Figura 16. Diseño de sistema eléctrico propiedad Autores

XXII-C. Flujo de Señales

Las celdas de carga detectan la fuerza aplicada, el amplificador HX711 amplifica la señal y el ESP32 la procesa, mostrando los datos en tiempo real en una pantalla o enviándolos a la nube.

XXIII. DISEÑO DEL PROGRAMA

El programa se desarrolla en *Arduino IDE* y se ejecuta en el ESP32 para capturar y procesar los datos de las celdas de carga.

XXIII-A. Inicialización

En la fase de inicialización, se configurarán los pines del ESP32 para la lectura de las celdas de carga, la activación de los LEDs y la lectura de los pulsadores. Además, se inicializará la comunicación con el módulo de peso.

Este código permite la adquisición y visualización de los datos de fuerza medidos por un sistema basado en el microcontrolador ESP32 y el módulo amplificador de señales HX711, el cual está conectado a una celda de carga. A continuación, se detallan las funciones y características clave del código:

XXIII-A1. Configuración de la conexión WiFi (punto de acceso): El ESP32 se configura como un punto de acceso (AP) para crear una red WiFi local con SSID "Balanza" y la contraseña "12345678". Se asignan direcciones IP estáticas (192.168.5.x) para el punto de acceso y se configura la máscara de subred para permitir la comunicación de dispositivos conectados.

XXIII-A2. Interfaz con el sensor HX711: Se definen los pines DOUT (19) y SCK (18) que conectan el ESP32 con el amplificador HX711, el cual amplifica la señal analógica de la celda de carga. Se calibra el sistema mediante el método `set_scale(3960)` para ajustar el factor de conversión y se realiza una operación de tarado (`tare(5)`) para eliminar el peso residual o de fondo de la celda de carga.

XXIII-A3. Servidor web integrado: El ESP32 actúa como un servidor HTTP en la red WiFi local creada. Este servidor responde a las peticiones en el puerto 80, sirviendo una página web que muestra el valor de la fuerza medida en kilogramos (KG). La función `handle_OnConnect()` gestiona las conexiones al servidor, obteniendo el valor medido de la celda de carga a través del método `balanza.get_units(10)`, que devuelve el promedio de 10 lecturas para mejorar la precisión. Los datos medidos se envían al navegador web como una página HTML que se actualiza automáticamente cada 0.3 segundos, lo que permite monitorear el peso en tiempo real.

XXIII-A4. Generación de la interfaz HTML: La interfaz web generada incluye un diseño responsivo que muestra el valor de la fuerza medido en kilogramos, junto con un encabezado que indica que se trata de un "Medidor de Fuerza KG". También se incluye un logotipo (enlazado desde una URL externa) para dar contexto visual al proyecto.

XXIII-A5. Manejo de errores: Si el HX711 no está conectado o no responde correctamente, se envía un mensaje de error ("HX711 no encontrado") a la consola serial, permitiendo detectar problemas en la conexión o configuración del hardware.

XXIII-B. Captura de Datos

El ESP32 leerá continuamente los datos de las celdas de carga a través del módulo de peso (HX711). Cada lectura será filtrada para eliminar ruido y obtener una señal limpia que represente la fuerza de impacto.

XXIII-C. Procesamiento de Señales

El programa realizará los siguientes cálculos en tiempo real:

- **Magnitud de la fuerza:** Se calculará a partir de las lecturas de las celdas de carga.
- **Tiempo de contacto:** Se determinará midiendo la duración del impacto.
- **Energía del impacto:** Se calculará a partir de la fuerza y el tiempo.

XXIII-D. Envío de Datos a la Nube

El ESP32, mediante su conectividad Wi-Fi, enviará los datos procesados a una plataforma en la nube para su almacenamiento y análisis posterior. Estos datos podrán ser visualizados y analizados en tiempo real utilizando bibliotecas como NumPy y Matplotlib en un servidor remoto.

XXIV. PRUEBAS DE CAMPO

XXIV-A. Parámetros Medidos

Durante las pruebas de campo, se calcularán los siguientes parámetros clave relacionados con el impacto:

Fuerza del impacto: La fuerza aplicada durante un golpe se calcula utilizando la relación entre la masa medida por las celdas de carga y la aceleración debida a la gravedad:

$$F = m \cdot g \quad (14)$$

Donde:

- F es la fuerza medida (en Newtons).
- m es la masa equivalente registrada por las celdas de carga (en kilogramos).
- g es la aceleración gravitacional (9.81 m/s^2).

Tiempo de contacto: El tiempo de contacto t_c se mide entre el instante en que comienza el impacto y el momento en que la fuerza vuelve a cero:

$$t_c = t_{\text{final}} - t_{\text{inicio}} \quad (15)$$

Donde:

- t_{inicio} es el tiempo en que se detecta el inicio del impacto.
- t_{final} es el tiempo en que finaliza el impacto.

Energía del impacto: La energía cinética E del golpe se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (16)$$

Donde:

- m es la masa equivalente medida por las celdas de carga.
- v es la velocidad del objeto en el momento del impacto, que se puede estimar utilizando la relación entre la distancia recorrida y el tiempo de contacto t_c .

XXIV-B. Filtrado de Señales

Para reducir el ruido en las señales obtenidas de las celdas de carga, se puede aplicar un filtro de media móvil que suaviza las fluctuaciones no deseadas. El valor filtrado F_{filtrado} se calcula como:

$$F_{\text{filtrado}}(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} F(n-i) \quad (17)$$

Donde:

- $F(n)$ es la lectura de la fuerza en el instante n .
- N es el número de muestras sobre las que se calcula la media.

XXIV-C. Preparación de las Pruebas

Antes de iniciar las pruebas de campo, se debe asegurar que el dispositivo esté correctamente calibrado y que todos los componentes funcionen según lo especificado en el diseño. Los siguientes pasos se completarán durante la fase de preparación:

- **Calibración de las celdas de carga:** Se usarán pesos conocidos para ajustar y verificar la precisión de las lecturas de las celdas de carga.
- **Pruebas de comunicación:** Se verificará la capacidad del ESP32 para enviar datos a la nube a través de la red Wi-Fi del entorno de pruebas.

XXIV-C1. Escenarios de Prueba: Las pruebas se llevarán a cabo en dos escenarios diferentes para simular diversas condiciones de uso:

XXIV-C1a. Prueba de Impactos Simples: Un atleta realizará golpes con diferentes niveles de fuerza (suave, moderado y fuerte) en un saco de boxeo equipado con las celdas de carga. El sistema registrará los datos de la fuerza, el tiempo de contacto y la energía de cada golpe. Se analizará la precisión de las mediciones comparándolas con valores obtenidos por métodos convencionales (medidores de fuerza comerciales o dinamómetros).

XXIV-C1b. Prueba de Impactos Combinados: Se realizarán combinaciones de golpes rápidos en sucesión para evaluar la capacidad del dispositivo de capturar y procesar múltiples impactos en tiempo real. Se medirá la capacidad de respuesta del sistema y se verificará si el envío de datos a la nube se realiza sin interrupciones ni pérdida de información.

XXIV-C2. *Parámetros que Evaluar:* Durante las pruebas de campo, se evaluarán los siguientes parámetros:

- **Precisión de la medición:** Comparar las lecturas del dispositivo con un medidor de referencia.
- **Tiempo de respuesta:** Evaluar el tiempo que tarda el sistema en capturar, procesar y enviar los datos a la nube.
- **Fiabilidad:** Verificar si el dispositivo mantiene un rendimiento estable durante pruebas prolongadas sin pérdida de precisión o fallos en los componentes.
- **Facilidad de uso:** Observar la experiencia del usuario durante la instalación, configuración y operación del dispositivo en el entorno de pruebas.



Figura 17. Equipos utilizados para medición de fuerza propiedad Autores

XXIV-C3. *Análisis de los Resultados:* Después de las pruebas, los datos recopilados serán analizados para determinar la precisión y fiabilidad del dispositivo en condiciones de uso real. Se utilizarán las siguientes métricas:

- **Error medio:** Comparación entre los datos registrados por el dispositivo y un medidor de referencia.
- **Tasa de fallos:** Número de fallos o desconexiones ocurridos durante las pruebas.
- **Eficiencia de procesamiento:** Tiempo promedio que el sistema tarda en procesar y enviar datos.

XXIV-C4. *Ajustes y Optimización:* Dependiendo de los resultados obtenidos en las pruebas de campo, se harán ajustes en el diseño del hardware y el software para optimizar el rendimiento del dispositivo. Estos ajustes pueden incluir:

- Mejoras en los algoritmos de filtrado de datos para reducir el ruido de las lecturas de las celdas de carga.
- Ajustes en los parámetros de comunicación del ESP32 para mejorar la velocidad de transmisión de datos.
- Revisión de la calibración de las celdas de carga para mejorar la precisión de las mediciones.

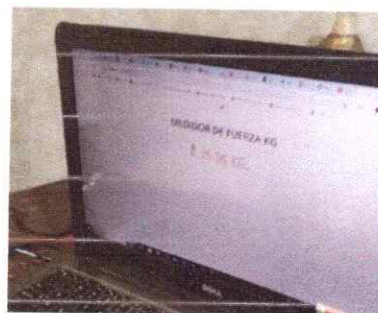


Figura 18. Resultados de medición de fuerza propiedad Autores

XXV. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Cuadro VI
CRONOGRAMA DEL PROYECTO

| Fase | Actividad | Duración |
|----------------------------|---|-----------------|
| Revisión de Literatura | Compilación y análisis de información | 2 semanas |
| Desarrollo de Hardware | Selección y configuración de componentes | 4 semanas |
| Desarrollo de Software | Programación en MicroPython y Python | 6 semanas |
| Integración y Pruebas | Ensamblaje y pruebas iniciales y de campo | 4 semanas |
| Análisis de Datos | Procesamiento y análisis estadístico de datos | 3 semanas |
| Validación y Documentación | Validación del dispositivo y documentación | 3 semanas |
| Total | | 22 semanas |

XXVI. PRESUPUESTO REFERENCIAL

Cuadro VII
PRESUPUESTO DEL PROYECTO

| Concepto | Cantidad | Costo Unitario | Costo Total |
|------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------|
| ESP32 Microcontrolador | 1 | \$35 | \$35 |
| Celdas de Carga (50 kg) | 2 | \$35 | \$70 |
| Módulo de Peso HX711 | 1 | \$15 | \$15 |
| Acelerómetros | 2 | \$20 | \$40 |
| Fuente de Alimentación | 1 | \$50 | \$50 |
| Cables y Conectores Jumper | glb | \$10 | \$10 |
| Materiales de Montaje (Base) | 1 | \$25 | \$25 |
| Saco de Boxeo | 1 | \$450 | \$450 |
| Raspberry Pi 4b | 1 | \$250 | \$250 |
| Pantalla | 1 | \$75 | \$75 |
| Programación y Software | N/A | N/A | \$0 (Desarrollado por el autor) |
| Total Estimado | | | \$1,020 |

XXVII. CONCLUSIONES

Se logró diseñar y construir un dispositivo capaz de medir la fuerza de impacto en deportes de combate. El uso de un microcontrolador ESP32 junto con celdas de carga de 50 kg y acelerómetros permitió captar datos con un alto grado de precisión durante los gestos deportivos.

La programación del dispositivo en Python y MicroPython permitió una integración eficiente entre los sensores y el microcontrolador. Los algoritmos desarrollados no solo lograron procesar los datos en tiempo real, sino que también presentaron los resultados de manera clara a través de una interfaz de usuario, cumpliendo con las expectativas de precisión y respuesta rápida.

La elección de las celdas de carga y otros componentes fue clave para obtener lecturas exactas y consistentes durante las pruebas. Los resultados de las pruebas de campo mostraron que los sensores seleccionados registraron los valores de fuerza de manera efectiva, validando la funcionalidad del sistema en condiciones reales de uso.

Las pruebas de campo demostraron que el dispositivo puede medir fuerzas de impacto con un error mínimo. Esto confirma la precisión del sistema para registrar datos durante los movimientos deportivos, contribuyendo a estudios más detallados sobre el rendimiento de los atletas en deportes de combate.

XXVIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar la implementación de versiones más avanzadas de los sensores de fuerza y acelerómetros para mejorar la resolución y rango de medida. Asimismo, se sugiere explorar alternativas para el microcontrolador, como el uso de procesadores más potentes que permitan una mayor capacidad de procesamiento en tiempo real.

Aunque el software desarrollado mostró un rendimiento adecuado, se recomienda optimizar los algoritmos para reducir aún más el tiempo de respuesta del sistema. Se podrían explorar técnicas avanzadas de filtrado de señal y procesamiento de datos para minimizar el ruido y mejorar la interpretación de las fuerzas captadas.

Es recomendable realizar pruebas en una variedad más amplia de deportes de combate y con diferentes tipos de atletas para evaluar la adaptabilidad y precisión del dispositivo en distintos contextos. Esto permitirá validar la versatilidad del sistema y garantizar su uso generalizado en otros deportes.

El sistema podría ser adaptado a otras disciplinas deportivas o incluso áreas como la biomecánica o rehabilitación física. Se recomienda investigar estas posibles aplicaciones, desarrollando versiones especializadas del dispositivo para cada contexto.

REFERENCIAS

- [1] T. M. A. Pressman K. Billings, *Switching Power Supply Design*, 3rd. New York: McGraw-Hill, 2009.
- [2] G. Barrera, J. Jiménez, R. Fienco y F. Gutiérrez, «Impacto tecnológico de las tendencias en robótica y sensores,» *RECIAMUC*, vol. 7, n.º 2, págs. 711-719, 2023.
- [3] Biomech. «ANÁLISIS DE FUERZAS.» (n.d.), dirección: <https://www.biomech-solutions.com/es/analisis-de-fuerzas/>.
- [4] O. Bustamante, *¿Qué es la fuerza muscular? – Departamento de Educación Física LTV*, Liceo Técnico de Valparaíso, 2020.
- [5] I. of Electrical y E. Engineers, *IEEE Std 802.3af-2003: Standard for Power over Ethernet (PoE)*, 2003.
- [6] J. Eslava, F. Martínez, A. Solo, E. Vera y D. Guevara, «Generación de mapas de contaminación por material particulado mediante sistemas embebidos: caso de estudio en Cúcuta (Colombia),» 86-97, 2021.
- [7] Ferenador, 2019.
- [8] *Fuentes de Alimentación Conmutadas (SMPS)*, <https://fidestec.com/blog/fuentes-de-alimentacion-conmutadas-01/>, 2020.
- [9] *Fuentes de Alimentación Lineales*, https://aulavirtual.fio.unam.edu.ar/pluginfile.php/164675/mod_resource/content/1/FuentesAlimentacionLineales.pdf, 2020.
- [10] P. Gil, «Diseño e implementación de un controlador PID mediante sistemas embebidos para un prototipo de cámara de estabilidad acelerada,» Tesis de mtría., Universidad Politécnica Salesiana, 2023. dirección: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27737/1/UPS-GT005231.pdf>.
- [11] A. Hernández y M. Pérez, «Propuesta de desarrollo de un sistema de riego inteligente, utilizando tecnología Pyboard,» *RILCO DS: Revista de Desarrollo sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación*, vol. 6, n.º 53, págs. 31-42, 2024.
- [12] J. Hernández, X. García, R. Pérez, A. González y L. Martínez, «Inventario y mapeo de variables forestales mediante sensores remotos en el estado de Quintana Roo, México,» *Madera y bosques*, 2020.
- [13] ISO, *Iso376*, Obtenido de <https://www.iso376.com/es/gama-de-fuerza/la-medicion-de-la-fuerza.pdf>, 2023.
- [14] R. Jiménez, «Caracterización de los tipos de sensores y su interacción con la realidad física,» *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, págs. 131-156, 2023.
- [15] M. Jones, «Classification of Combat Sports,» *Sports Studies Review. Journal of Combat Sports Science*, vol. 34, págs. 34-49, 2021.
- [16] T. Lee, «Portable Force Measurement Devices for Combat Sports,» *Sports Engineering Review*, págs. 165-179, 2021.
- [17] S. Marco, *Aplicación de sistemas embebidos en la construcción de robots móviles: El caso de club de robótica de la Universidad Técnicas de Cotopaxi*, Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6668/1/T-001497.pdf>, 2019.
- [18] E. Mendoza, P. Fuentes, I. Benítez, D. Reina y J. Núñez, «Red de sensores inalámbricos multisalto para sistemas domóticos de bajo costo y área extendida,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, págs. 412-423, 2020.
- [19] S. Meza, *Propuesta para la implementación de sistema IOT en zonas con baja conectividad a internet con almacenamiento de datos en la nube para la empresa WSP*, Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/53874/2024sebastianmeza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2023.
- [20] MicroPython, *MicroPython - Python for microcontrollers*, 2020.
- [21] *Módulo HX711 - Transmisor de Celda de Carga*, <https://naylampmechatronics.com/fuerza-peso/147-modulo-hx711-transmisor-de-celda-de-carga.html>, 2020.
- [22] J. Niño, M. Politi, M. Gulfo, H. Laiz, L. Lucangioli y C. Quiroga, «Ecosistema de Interoperabilidad basado en C++/MicroPython sobre plataformas Raspberry y ESP32,» *Elektron*, vol. 7, n.º 2, págs. 48-52, 2023.
- [23] G. I. Ospina y A. R. Quete, *Integración y Análisis de pequeñas turbinas eólicas en entornos urbanos*, 2020.
- [24] J. C. E. Paucar, *Construcción de una fuente de alimentación ininterrumpida UPS para teléfono inalámbrico*. 2009, Tesis de Licenciatura. QUITO/EPN/2006.

- [25] E. Smith, «Biomechanics in Combat Sports: Techniques and Injuries,» *Journal of Sports Biomechanics*, págs. 389-404, 2020.
- [26] E. Systems, *ESP32 Series Datasheet*, <https://www.espressif.com>, 2020.
- [27] J. Veneros, L. García, V. Gómez, M. Torres y F. L. Morales, «Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua,» *Scielo*, 2020.