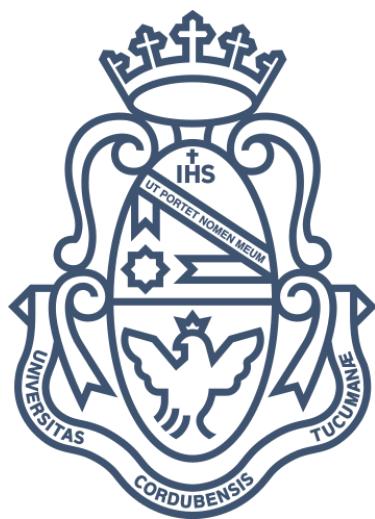


Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Facultad de Ciencias Médicas
Ingeniería Biomédica

Dispositivo de Natación Adaptada para Personas con Discapacidad Visual



Alumnos:

Fernández, Rocio Eliana –38191587

Juárez, Víctor Manuel – 41319232

Asesores:

Beltramone, Diego Antonio

García Giacosa, Lucía



Córdoba, octubre de 2023

Índice

| | |
|--|----|
| 1 Agradecimientos | 8 |
| 2 Resumen | 9 |
| 2.1 Palabras Clave | 9 |
| 3 Abstract | 9 |
| 3.1 Keywords | 10 |
| 4 Introducción | 11 |
| 4.1 Presentación de la problemática/caso o situación. Necesidades detectadas. | 11 |
| 4.2 Motivación | 12 |
| 5 Objetivos | 12 |
| 5.1 Objetivos generales | 12 |
| 5.2 Objetivos específicos | 12 |
| 6 Marco Teórico | 12 |
| 6.1 La discapacidad en la actualidad | 12 |
| 6.1.1 Familia y discapacidad | 13 |
| 6.2 Discapacidad visual | 13 |
| 6.2.1 Percepción visual | 14 |
| 6.2.2 Causas de discapacidad visual | 14 |
| 6.2.3 Tipos de discapacidad visual | 14 |
| 6.3 Deporte Adaptado - Natación Adaptada | 15 |
| 6.3.1 Reglas especiales | 16 |
| 6.3.2 Entrenamiento | 17 |
| 6.3.2.1 Fase de familiarización | 17 |
| 6.3.2.2 Fase de desarrollo de las habilidades y destrezas básicas | 17 |
| 6.3.2.3 Desarrollo de las tareas específicas: el trabajo de técnica | 18 |
| 6.3.3 Consideraciones en infraestructura | 18 |
| 6.3.4 Competición | 19 |
| 6.3.4.1 Organismos de natación para ciegos | 19 |
| 6.4 Usabilidad | 20 |
| 6.4.1 Marco normativo: ISO 9241-11:2019 | 20 |
| 6.4.2 Especificación de la usabilidad | 20 |
| 6.4.2.1 Descripción de los objetivos | 21 |
| 6.4.2.2 Descripción del contexto de uso | 21 |
| 6.4.2.3 Medidas de usabilidad | 21 |
| 6.4.3 Medición de la usabilidad | 22 |
| 6.5 Diseño centrado en el usuario | 23 |
| 6.5.1 Marco normativo: ISO 9241-210:2019 | 23 |
| 6.5.1.1 Principios | 23 |
| 6.5.2 Marco normativo: ISO 9999:2021 | 24 |
| 6.5.2.1 Clasificaciones posibles para nuestro dispositivo según la norma ISO 9999:2021 | 24 |
| 6.5.3 Marco Normativo: ANMAT - Disposición 2318/2002 | 25 |
| 6.5.3.1 Reglamento Técnico Mercosur de Registro de Productos Médicos - | |

| | |
|--|-----------|
| Resolución GMC N° 37/96 | 25 |
| 6.5.3.2 Forma de Aplicación de acuerdo al Anexo II de la normativa | 25 |
| 6.5.3.3 Reglas para clasificar los productos médicos | 26 |
| 7 Información relevante del Proyecto | 27 |
| 7.1 Historia: Inicios del proyecto | 27 |
| 7.1.1 Primer prototipo - NEMO | 27 |
| 7.2 Historia: Crecimiento del proyecto | 27 |
| 7.3 Equipo de trabajo | 28 |
| 7.3.1 Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales | 28 |
| 7.3.2 Agencia Córdoba Deportes | 29 |
| 7.3.3 Fundación Fablab Córdoba | 29 |
| 7.3.4 Fundación Gaude | 29 |
| 7.3.5 Fundación por Igual Más | 29 |
| 7.3.6 Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño | 29 |
| 7.3.7 Universidad IUAV de Venecia (ITALIA) | 29 |
| 7.4 Apoyo externo | 29 |
| 7.4.1 Profesionales colaboradores | 29 |
| 7.4.2 PROCODAS (Financiamiento Nacional) | 29 |
| 7.4.3 INNOVAR (Concurso Nacional) | 30 |
| 7.4.4 Piletas | 30 |
| 8 Diseño | 31 |
| 8.1 Benchmarking | 31 |
| 8.1.1 Definición | 31 |
| 8.1.2 Justificación | 31 |
| 8.1.3 Metodología | 31 |
| 8.1.3.1 Tecnologías asistivas | 32 |
| 8.1.3.1.1 Tapper | 32 |
| 8.1.3.1.2 Antiparras oscurecidas | 32 |
| 8.1.3.1.3 Blind cap (samsung) | 32 |
| 8.1.4 Resultados | 33 |
| 8.1.5 Entrevistas | 33 |
| 8.2 Estudio ergonómico | 35 |
| 8.2.1 Definición | 35 |
| 8.2.2 Justificación | 35 |
| 8.2.3 Metodología | 36 |
| 8.2.4 Resultados | 36 |
| 8.3 Entrevistas - Focus group | 36 |
| 8.3.1 Definición | 36 |
| 8.3.2 Justificación | 36 |
| 8.3.3 Metodología | 36 |
| 8.3.4 Resultados | 37 |

| | |
|---|----|
| 8.4 Análisis de Entrevistas | 37 |
| 8.4.1 Procesamiento de la información | 37 |
| 8.4.2 Resultados obtenidos | 37 |
| 9 Investigación de tecnologías | 41 |
| 9.1 Componentes | 41 |
| 9.1.1 Lenguaje de programación | 41 |
| 9.1.1.1 Python | 41 |
| 9.1.2 Entornos de Desarrollo Integrados (IDE) | 41 |
| 9.1.2.1 Visual Studio | 41 |
| 9.1.2.2 Arduino IDE | 42 |
| 9.1.2.3 MPLAB | 43 |
| 9.1.3 Microcontroladores | 43 |
| 9.1.3.1 PIC 16F887 | 43 |
| 9.1.3.2 Arduino UNO | 44 |
| 9.1.3.3 Arduino NANO | 44 |
| 9.1.3.4 ESP32 | 45 |
| 9.1.4 Sensores para detección | 46 |
| 9.1.4.1 Ultrasonido | 46 |
| 9.1.4.1.1 Principio físico | 46 |
| 9.1.4.1.2 Sensor ultrasonido HC-SR04 | 46 |
| 9.1.4.1.3 Sensor ultrasonido JSN SR04T | 46 |
| 9.1.4.1.4 Sensor ultrasonido AJ SR04M | 47 |
| 9.1.4.1.5 Sonar altímetro y ecosonda PING | 47 |
| 9.1.4.2 Algoritmos de detección en tiempo real | 48 |
| 9.1.4.3 Comparación entre algoritmos: Validation Loss, Precision, Recall, F1 Score y Tasa de cuadros. | 50 |
| 9.1.4.3.1 Versión elegida de YOLO y comparación con versiones anteriores | 53 |
| 9.1.4.3.2 Características de cámaras para compatibilidad con YOLO v7 | 53 |
| 9.1.5 Comunicación Inalámbrica | 54 |
| 9.1.5.1 Bluetooth | 54 |
| 9.1.5.1.1 HC-05 | 54 |
| 9.1.5.1.2 HM-10 | 54 |
| 9.1.5.2 Lora | 55 |
| 9.1.5.3 Módulo RF 433 | 56 |
| 9.1.5.4 WiFi | 56 |
| 9.1.5.4.1 ESP32-WROOM | 56 |
| 9.1.6 Aviso | 57 |
| 9.1.6.1 Sonido | 57 |
| 9.1.6.1.1 Módulo buzzer | 57 |
| 9.1.6.1.2 Auriculares | 57 |
| 9.1.6.2 Vibración | 58 |
| 9.1.6.2.1 Módulo motor vibrador | 58 |

| | |
|--|-----------|
| 9.1.6.2.2 Motor de vibración háptico | 58 |
| 10 Ensayos | 60 |
| 10.1 Detección | 60 |
| 10.1.1 Sensores de ultrasonido | 60 |
| 10.1.1.1 JSN SR04t - prueba en aire | 60 |
| 10.1.1.2 JSN SR04t - prueba en agua | 62 |
| 10.1.1.3 JSN SR04t - interfaz aire-agua | 64 |
| 10.1.2 Cámara | 64 |
| 10.1.2.1 Selección de modelo | 64 |
| 10.1.2.2 . Algoritmo YOLOv 7 - Base de datos y entrenamiento | 64 |
| 10.1.2.3 Accuracy alcanzado sobre los datos de entrenamiento y testeo | 64 |
| 10.1.2.4 Modificaciones en el código | 67 |
| 10.2 Comunicación inalámbrica | 67 |
| 10.2.1 Atenuación de ondas | 67 |
| 10.2.2 Bluetooth | 67 |
| 10.2.2.1 Conexión bluetooth | 67 |
| 10.2.2.2 Protocolo TLS Handshake | 67 |
| 10.2.2.3 Alcance | 68 |
| 10.2.3 Wifi | 68 |
| 10.2.3.1 Protocolo ESP-Now | 68 |
| 10.2.3.2 Alcance | 68 |
| 10.3 Aviso | 69 |
| 10.3.1 Modulo motor vibrador | 69 |
| 11 Prototipos desarrollados | 70 |
| 11.1 Prototipos funcionales | 70 |
| 11.1.1 Prototipo 1: Sensor JSN SR04T + PIC16F887 + Bluetooth HC05 + Buzzer | 70 |
| 11.1.1.1 Funcionalidad | 70 |
| 11.1.1.2 Materiales utilizados | 70 |
| 11.1.1.3 Pruebas implementadas sin usuarios | 71 |
| 11.1.1.4 Pruebas con usuarios | 71 |
| 11.1.1.5 Dificultades presentadas | 71 |
| 11.1.1.6 Diagrama de Conexión | 71 |
| 11.1.2 Prototipo 2: Sensor JNS Sr04T + Placa Arduino + Bluetooth HC05 + Vibración | 72 |
| 11.1.2.1 Funcionalidad | 72 |
| 11.1.2.2 Materiales utilizados | 73 |
| 11.1.2.3 Pruebas implementadas sin usuarios | 73 |
| 11.1.2.4 Pruebas implementadas con usuarios | 73 |
| 11.1.2.5 Dificultades presentadas | 74 |
| 11.1.3 Prototipo 3: Cámaras con YOLO v7 + Placa ESP32 + Wifi + Buzzer/Motor | 76 |
| 11.1.3.1 Funcionalidad | 76 |
| 11.1.3.2 Materiales utilizados | 76 |
| 11.1.3.3 Pruebas implementadas sin usuarios | 76 |

| | |
|---|-----|
| 11.1.3.4 Pruebas implementadas con usuarios | 77 |
| 11.1.3.5 Dificultades presentadas | 77 |
| 11.1.3.6 Entrenamiento del código con su detección correspondiente | 77 |
| 11.2 Consideraciones finales | 80 |
| 11.2.1 Modos de detección | 80 |
| 11.2.2 Modos de aviso | 80 |
| 11.2.3 Ubicación | 80 |
| 11.2.4 Comunicación | 80 |
| 11.2.5 Alimentación | 80 |
| 12 Pruebas de funcionalidad | 82 |
| 12.1 Pruebas de usuario | 82 |
| 12.1.1 Detección de inconformidades y soluciones | 83 |
| 13 Prototipo final | 84 |
| 13.1 Funcionalidad | 84 |
| 13.1.1 Calibración | 85 |
| 13.2 Transmisor | 85 |
| 13.3 Receptor | 86 |
| 13.4 Resultados | 86 |
| 14 Conclusiones y recomendaciones | 88 |
| 16 Bibliografía y Referencias | 90 |
| 17 Anexos | 96 |
| 17.1 ANEXO A: Entrevistas UX | 96 |
| 17.1.1 Entrenadores | 96 |
| 17.1.2 Nadadores | 98 |
| 17.1.3 Colaboradores | 105 |
| 17.2 ANEXO B: Características Técnicas | 106 |
| 17.2.1 PIC 16F887 | 106 |
| 17.2.2 Arduino UNO | 106 |
| 17.2.3 ESP32 | 107 |
| 17.2.4 Sensor ultrasonido HC-SR04 | 107 |
| 17.2.5 Sensor ultrasonido JSN SR04T | 108 |
| 17.2.6 Sensor ultrasonido AJ SR04M | 109 |
| 17.2.7 Sonar altímetro y ecosonda PING | 109 |
| 17.2.8 HC-05 | 110 |
| 17.2.9 HM 10 | 111 |
| 17.2.10 RF 433 | 111 |
| 17.2.11 ESP32-WROOM | 112 |
| 17.2.12 Módulo buzzer | 113 |
| 17.2.13 Módulo motor vibrador | 113 |
| 17.3 ANEXO C: Extracción de dirección MAC del ESP 32 | 114 |
| 17.4 ANEXO D: Armado de dataset personalizado con etiquetado (labelImg) | 115 |
| 17.4.1 Objetivo | 115 |

| | |
|--|-----|
| 17.4.2 Piletas Participantes | 115 |
| 17.4.3 Metodología | 115 |
| 17.4.3.1 Visitas y Grabaciones | 115 |
| 17.4.3.2 Procesamiento de los vídeos | 115 |
| 17.4.3.3 Etiquetado de Imágenes | 115 |
| 17.4.4 Resultados | 115 |
| 17.5 ANEXO E: Algoritmo de detección YOLO. Instalación y modificaciones para un entrenamiento con dataset personalizado. | 117 |
| 17.6 ANEXO F: Código de detección YOLOv 7 | 119 |
| 17.6.1 Librerías | 119 |
| 17.6.2 Definición de función DETECT | 119 |
| 17.6.3 Ejecución del programa PROMPTS | 122 |
| 17.6.4 Modificaciones realizadas en el código | 123 |
| 17.6.4.1 Vectores de detección | 123 |
| 17.6.4.2 Cálculo de distancia | 124 |
| 17.6.4.3 Comunicación Python-Arduino | 124 |

1 Agradecimientos

Es difícil saber por dónde o por quién comenzar a agradecer. Queremos expresar nuestros agradecimientos a todas las personas que nos dieron su apoyo y aliento, ya sea como participantes en el estudio, colaboradores o fuentes de inspiración. Su generosidad y contribuciones fueron esenciales para el éxito de este trabajo.

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros excelentes asesores del proyecto integrador. A Diego, por su orientación experta, su paciencia y principalmente su gran dedicación a lo largo de este proceso. A Luci, por su gran acompañamiento, motivación constante y gran compromiso con nosotros y con el propósito final del proyecto.

Agradecemos a nuestros amigos, compañeros de estudio y futuros colegas por escucharnos en los buenos y en los malos momentos durante más de un año en las idas y vueltas de este proyecto.

Y lo más importante, agradecemos a nuestras familias profundamente por ayudarnos a lo largo de estos años transitados en la carrera.

Manu: *"Agradezco a mi familia que me brindó todos estos años muchísimo apoyo y amor, que me inculcó desde chico a pensar en grande. Nunca me dijeron que no cuando se trataba de aprender, siempre consintiendo a su niño pequeño, felices por mis logros y mis fracasos. A mi papá por haberme cuidado y haberme dado todo su cariño. A mis hermanas que me presumen con todos sus amigxs como su "hermanito super inteligente", atentas ante cualquier problema que tengo. Y principalmente a mi mamá, por todo. Por siempre festejar mis notas de pequeño, por comprarme todos los libros que le pedía, por estar ahí siempre para mí y aceptarme como soy."*

Roci: *"Quiero agradecer a mis amigos, que estando cerca o lejos me escuchan y acompañan en cada ocurrencia que tengo, aunque cada idea nueva parezca una locura más grande que la anterior. A toda mi familia de Camellitos, por siempre alentarme desde pequeña para superarme a mi misma en cada desafío que se me presenta y por permitirme crecer con la certeza de que siempre encontraremos alguna forma de ayudar a los demás. A mi mamá y a mi abuela, gracias por darme alas para volar. Vale, sos mi motor día a día para seguir adelante. Abuelo, deseo que desde el cielo me mires orgulloso por animarme a perseguir lo que anhelo."*

Toda la carrera ha sido un camino difícil de realizar pero extremadamente interesante, emocionante y divertido. Hoy ha de finalizar para nosotros con la entrega de este proyecto integrador.

Finalmente, dedicamos este trabajo a todas las personas que comparten un interés en el tema de este trabajo. Esperamos que esta investigación contribuya de manera significativa al campo y sea de utilidad en futuros estudios.

A todos ustedes, nuestro más sincero agradecimiento. Este logro no habría sido posible sin su apoyo y colaboración.

2 Resumen

El presente trabajo surge a raíz de la falta de autonomía que se observa en la práctica de la natación adaptada para personas con discapacidad visual, quienes dependen constantemente de su entrenador para saber cuándo están alcanzando el fin de la pileta y así poder realizar el viraje. Dicha problemática se planteó en la cátedra de Ingeniería en Rehabilitación, donde se comenzó un primer abordaje y surgió el primer prototipo.

Se realizaron varias entrevistas con posibles usuarios para establecer un punto común que englobara sus preferencias ante la posible existencia de un dispositivo que les pudiera brindar dicha autonomía. En base a la información obtenida, por varios meses se investigó sobre tecnologías que pudieran servir en este proyecto, sus costos y formas de funcionamiento, y con ellas se realizaron diferentes ensayos que pusieran a prueba la información teórica y brindaran una comprobación empírica de los recursos disponibles.

Dicha investigación desembocó en un primer prototipo que basado en un sensor de ultrasonido, permitía al nadador obtener información de su acercamiento al borde de la pileta.

El entusiasmo generado por este logro, permitió obtener ayuda de entes externos para mejorar el dispositivo. Así se llegó a nuevos prototipos donde se sumó la detección de objetos para aumentar la seguridad del nadador, y se incluyeron oportunidades para que el entrenador se comunique con su alumno.

Los distintos prototipos fueron validados con pruebas de usuarios llegando a un dispositivo considerado útil para ellos. Actualmente es un anhelo que esta investigación siga curso y pueda servir de ayuda a otros investigadores en pos de mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual.

2.1 Palabras Clave

Discapacidad visual – natación adaptada – tecnología asistiva – autonomía – sensor.

3 Abstract

The present work arises from the lack of autonomy that is observed in the practice of swimming adapted for people with visual disabilities, who constantly depend on their trainer to know when they are reaching the end of the pool and thus be able to make the turn. This problem was raised in the Rehabilitation Engineering chair, where a first approach began and the first prototype emerged.

Several interviews with possible users were carried out to establish a common point that encompassed their preferences regarding the possible existence of a device that would provide them with said autonomy. Based on the information obtained, for several months, research was carried out on technologies that could be used in this project, their costs and ways of operating, and with them, different tests were carried out that tested the theoretical information and provided an empirical verification of the resources available.

This investigation led to a first prototype that, based on an ultrasound sensor, allowed the swimmer to obtain information on his approach to the edge of the pool.

The enthusiasm generated by this achievement made it possible to obtain help from external entities to improve the device. This is how new prototypes were reached where object

detection was added to increase the safety of the swimmer, and opportunities were included for the coach to communicate with his student.

The different prototypes were validated with user tests, arriving at a useful device for them. It is currently expected that this research will continue and can help other researchers in order to improve the quality of life of people with visual disabilities.

3.1 Keywords

Visual disability – adapted swimming – assistive technology – autonomy – sensor.

4 Introducción

La discapacidad es una realidad que afecta a un significativo número de personas en la actualidad. Casi 900.000 personas tienen algún grado de discapacidad visual en la Argentina, estimó el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (Indec), que precisó que el 96,4% de ellas manifestó tener "mucha dificultad para ver" y el 3,6% restante indicó que "no puede ver nada".

Según el Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad (PCD), implementado en localidades urbanas de 5.000 y más habitantes del país durante abril y mayo de 2018, un 10,2% de la población de seis años y más tiene alguna dificultad, sobre un total de casi 44 millones de argentinos. De ese 10,2% el 25% tiene dificultad visual, lo que representa, en números absolutos, casi 900.000 personas [1].

Es fundamental abordar los desafíos que enfrentan las PCD en diferentes aspectos de su vida cotidiana con el objetivo común de llegar a ser una sociedad inclusiva y respetuosa de los derechos de todas las personas. Una de las áreas en las que la inclusión y la accesibilidad son especialmente relevantes es en el deporte.

El deporte adaptado es una herramienta valiosa para mejorar la calidad de vida de las PCD, promoviendo su participación activa en la sociedad. El dispositivo desarrollado en este proyecto integrador fue enmarcado, particularmente, en el área de la natación adaptada para PCD visual.

El mundo de la natación adaptada es una opción deportiva cada día más elegida por las personas que están en alguna situación de discapacidad dados sus múltiples beneficios [2]. No solo se trabaja el cuerpo mejorando la salud y el bienestar físico junto a diversas habilidades (como equilibrio, propriocepción y coordinación), sino que también impacta positivamente a nivel mental y social, potenciando el crecimiento de la autoestima, la seguridad y la confianza en uno mismo, llegando a proporcionar oportunidades de competición y logro de metas [3].

Las PCD visual enfrentan retos significativos debido a la falta total o parcial de percepción visual, teniendo dificultad para identificar visualmente obstáculos o límites físicos en estos entornos, lo que puede poner en riesgo su seguridad y movilidad.

4.1 Presentación de la problemática/caso o situación. Necesidades detectadas.

En la actualidad la manera de dar aviso a los nadadores con discapacidad visual sobre la llegada al extremo de la pileta es muy rudimentaria, implicando una posible pérdida de tiempo de carrera o incluso la posibilidad de un accidente ante imprevistos. Para ello el entrenador emplea una vara de aluminio que cuenta en la punta con un corcho o pelota, a fin de disminuir el impacto, y con la misma toca alguna parte del cuerpo del nadador (cabeza, hombro o brazo) para dar la indicación necesaria.

Esto genera una fuerte sensación de inseguridad en las personas que practican este deporte en sus entrenamientos y competiciones, llegando a privar de practicar natación a personas sin experiencia.

La detección de falta de innovación tecnológica en el área tuvo lugar en el contexto de búsqueda de proyectos para la cátedra de Ingeniería en Rehabilitación. Se decidió tomar acción para resolver el problema desarrollando un producto innovador que atienda a las necesidades y deseos de este grupo social. De esta manera se llegó a un primer prototipo funcional.

En este contexto, el presente proyecto integrador se centra en la investigación y desarrollo de un dispositivo de aviso específico para PCD visual en piletas, con el objetivo de

proporcionar una herramienta eficaz y accesible que les ayude a identificar el momento de realizar el viraje en sentido contrario y así prevenir posibles accidentes. Se aspira a crear un ambiente seguro y confortable a aquellas personas que decidan aventurarse en el mundo de la natación adaptada, tanto nadadores como entrenadores, sin ningún impedimento que los retraija de dar el paso y animarse a intentarlo.

4.2 Motivación

Este proyecto integrador busca contribuir al campo de la accesibilidad y la seguridad en las piletas para las PCD visual, ofreciendo una solución innovadora y efectiva para ayudar a prevenir accidentes y promover la inclusión en el contexto de la natación adaptada. A través de una revisión exhaustiva de la literatura y la propuesta de un dispositivo de aviso específico, se espera generar conocimiento relevante en este ámbito y promover mejores prácticas en la atención y participación de las PCD visual en el deporte y la recreación acuática.

5 Objetivos

5.1 Objetivos generales

Detectar la cercanía de un nadador al extremo de la piletta y enviarle un aviso para indicarle cuándo detenerse y/o dar vuelta.

5.2 Objetivos específicos

- *Diseñar, implementar y validar un prototipo de dispositivo que cumpla con las necesidades de los usuarios.*

6 Marco Teórico

La discapacidad forma parte de la condición humana: posiblemente casi todas las personas tendrán algún tipo de discapacidad transitoria o permanente en algún momento de su vida, y las que lleguen a la senilidad experimentarán dificultades crecientes de funcionamiento. La discapacidad es compleja, y las intervenciones para superar las desventajas asociadas a ella son múltiples, sistémicas y varían según el contexto [4].

6.1 La discapacidad en la actualidad

Según datos analizados de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 2023 un 16% de la población mundial, es decir, más de mil millones de personas padece alguna forma de discapacidad. La misma organización describe la discapacidad como: “Un término general que abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones de la participación, entendiendo las deficiencias como problemas que afectan a una estructura o función corporal; las limitaciones de la actividad como dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación como problemas para participar en situaciones vitales” [5].

Las personas con discapacidad son aquellas que tienen deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, en interacción con diversas barreras, pueden obstaculizar su participación plena y efectiva en la sociedad en igualdad de condiciones con los demás [6].

Lo que no dice la definición es la carga social que esa palabra lleva para las personas que tienen una deficiencia, una limitación o una restricción. Una persona con miopía tiene una

limitación ya que sin gafas tiene dificultades para ver, pero al ser una limitación normalizada, no es considerada discapacidad. Por lo tanto, en los últimos años, la comprensión de la discapacidad ha pasado de una perspectiva física o médica a otra que tiene en cuenta el contexto físico, social y político de una persona [7].

Hoy en día, se entiende que la discapacidad surge de la interacción entre el estado de salud o la deficiencia de una persona y la multitud de factores que influyen en su entorno. Por consiguiente, la discapacidad es un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive.

Se han hecho grandes progresos para que el mundo sea más accesible para las personas que viven con discapacidad; sin embargo, se requiere mucho más trabajo para garantizar el acceso a sus derechos, necesidades y deseos.

6.1.1 Familia y discapacidad

La discapacidad no solo afecta a la persona con discapacidad, sino que también tiene un impacto en su entorno, incluyendo a su familia la cual es el cimiento principal en la vida de cada persona. Al hablar de familia entran en juego todos los integrantes. Por tanto, si uno de ellos se ve afectado por alguna razón, la familia percibirá también el cambio.

Una de las situaciones que pueden modificar la estructura familiar es la discapacidad. Al limitar las actividades de la vida diaria no solo termina afectando a la persona con discapacidad sino cambiando toda la dinámica de la familia, requiriendo en muchas ocasiones importantes cuidados.

La familia termina jugando un papel importante brindando apoyo emocional, físico y social. El cuidado de PCD es una responsabilidad que podría implicar directamente a familiares, modificando los roles que cada uno ocupaba anteriormente y llevándolos a enfrentar desafíos adicionales en el cuidado de este familiar.

Es fundamental que la sociedad promueva la inclusión y la participación activa de las PCD, así como el apoyo a sus familias, para garantizar una vida plena y digna para todos [8].

6.2 Discapacidad visual

La discapacidad visual es una condición que afecta directamente la percepción de imágenes por parte de la persona. Existen diferentes tipos de discapacidad visual, que van desde la ceguera total, que implica la ausencia total de visión, hasta la baja visión, que se refiere a una disminución de la capacidad visual que no puede ser corregida con lentes o tratamientos médicos.

Entre los tipos de discapacidad visual más comunes se encuentran la ceguera congénita, que está presente desde el nacimiento, y la ceguera adquirida, que se desarrolla a lo largo de la vida debido a enfermedades, lesiones o envejecimiento.

En muchos países es estimado que por cada millón de habitantes hay 5.000 ciegos y 20.000 PCD visual, al menos 2/3 partes es debido a causas tratables como la catarata, defectos refractivos, retinopatía diabética, ceguera infantil, glaucoma, oncocercosis y tracoma [9].

La visión es un sentido que permite identificar objetos a distancia y en su totalidad. Las personas que carecen de él perciben el mundo a través de otras sensaciones, como olores, sabores, sonidos y tacto, y a veces solo pueden obtener imágenes fragmentadas de los objetos.

6.2.1 Percepción visual

De acuerdo a Frostig [10], la percepción visual se define como la capacidad de reconocer y discriminar objetos, personas y estímulos del ambiente, así como de interpretar lo que son. Significa que un niño puede ser capaz de ver un edificio por primera vez (en persona o en imagen), pero si no ha tenido una experiencia previa acerca del edificio tal vez no sabrá lo que es.

El proceso de desarrollo de la percepción visual no se realiza de forma natural en una persona con trastornos visuales y con visión residual limitada (baja visión). Sigue los mismos pasos que en una persona con visión normal, pero la percepción visual se detiene a no ser que se reciba algún apoyo o estimulación visual para “aprender a ver” [10].

La capacidad de tener una buena percepción está vinculada a la madurez y funcionamiento adecuado de los sentidos que transmiten la información al cerebro. Esta madurez requiere de una exposición a un entorno que le permita a las personas tener un buen aprendizaje y asimilación del mismo. Si durante la infancia, hasta los 7 u 8 años, se cumplen dichas condiciones los niños pueden mejorar su percepción. El apoyo recibido es crucial en esta construcción, ya que les ayuda a descubrir sus habilidades y posibilidades.

6.2.2 Causas de discapacidad visual

La discapacidad visual puede originarse por un inadecuado desarrollo de los órganos visuales o por padecimientos o accidentes que afecten los ojos, las vías visuales o el cerebro. Puede originarse en diferentes edades y mostrar una evolución distinta, de acuerdo con la edad de aparición. Un bebé que nace con una discapacidad visual debe construir su mundo por medio de imágenes fragmentadas (si tiene una visión disminuida) y de información que reciba del resto de los sentidos. En cambio, un adulto que pierde la vista debe adaptarse a una condición diferente de un mundo que ya construyó a partir de la visión.

Debido a la necesidad de estimular la vista de las personas con baja visión, es importante detectar a tiempo los problemas visuales y actuar de manera oportuna para fomentar el uso de la visión aunado a los otros sentidos, en la construcción del conocimiento [10].

6.2.3 Tipos de discapacidad visual

La discapacidad visual adopta la forma de ceguera y baja visión. Se define con base en la agudeza visual y el campo visual. Se habla de discapacidad visual cuando existe una disminución significativa de la agudeza visual aún con el uso de lentes, o bien, una disminución significativa del campo visual [11].

La agudeza visual es la capacidad de un sujeto para percibir con claridad y nitidez la forma y la figura de los objetos a determinada distancia. Las personas con agudeza visual normal registran una visión de 20/20: el numerador se refiere a la distancia a la que se realiza la prueba, y el denominador, al tamaño del optotipo (figura o letra que utiliza el oftalmólogo para evaluar la visión). Las personas que utilizan lentes en su mayoría experimentan afectaciones en la agudeza visual. No se les considera personas con baja visión, porque su visión borrosa se soluciona con el uso de lentes.

El campo visual se refiere a la porción del espacio que un individuo puede ver sin mover la cabeza ni los ojos. Una persona con visión normal tiene un campo visual de 150 grados en plano horizontal y 140 grados en el plano vertical.

El campo visual determina el umbral de detección de sensibilidad a la luz, mientras que la agudeza visual, el umbral de resolución pudiendo no ser correlativo. Se justifica así la necesidad de evaluar ambas variables.

En Argentina para evaluar personas se utilizan dos clasificaciones de la OMS; la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud en su décima revisión (CIE-10) y la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) [12].

De acuerdo con la OMS [13] es posible, desde un punto de vista funcional, definir a:

- Baja Visión: Intervalo de capacidad de visión que se sitúa entre la visión normal y la ceguera total, caracterizada por una visión “funcional” según circunstancias fisiológicas, ambientales y psicológicas.
- Ceguera: Ausencia total de visión, con incompatibilidad de realizar tareas visuales, es decir, no usa ni es capaz de usar su visión para la planificación o ejecución de una labor.
- Persona con Baja Visión: aquella que tiene un impedimento en la función visual aún después de tratamiento o de corrección refractiva, con agudeza visual en el mejor ojo, de 3/10, o un campo visual menor de 20º pero que usa o es potencialmente capaz de usar la visión para la ejecución de una tarea.
- Persona con Ceguera Legal: Quien aún después de un tratamiento y/o refracción convencional tiene en su mejor ojo una agudeza visual menor de 1/10 (igual o menor a 0.05) hasta visión luz y/o un campo visual menor o igual a 10º.

| | |
|-------------|---|
| Baja Visión | A.V.: menor a 0.3 (3/10) |
| | C.V.: menor a 20º |
| Ceguera | A.V.: menor a 0.1 (1/10) a 0.05 (5/100) |
| | C.V.: menor y/o igual a 10º |

Figura N° 1: Clasificación según AV y CV

6.3 Deporte Adaptado - Natación Adaptada

El deporte adaptado es una disciplina deportiva cuyas reglas han sido adaptadas para que pueda ser practicado por personas que tengan una discapacidad física, visual y/o intelectual. Busca promover la inclusión y la participación activa de las PCD en actividades físicas y deportivas. Se basa en la premisa de que todas las personas, independientemente de sus capacidades, tienen el derecho de participar en el deporte en igualdad de condiciones y disfrutar de los beneficios que este ofrece, tales como mejorar la salud, la autoestima, la socialización y la calidad de vida.

El deporte adaptado abarca una amplia variedad de disciplinas deportivas, incluyendo atletismo, baloncesto, ciclismo, esgrima, fútbol, natación, tenis, entre otros. Cada disciplina deportiva adaptada tiene sus propias reglas particulares y adaptaciones, según las necesidades y capacidades de los participantes con discapacidad.

La natación adaptada es una disciplina deportiva acuática que forma parte del deporte adaptado. Esta modalidad deportiva está diseñada específicamente para PCD física, visual o intelectual, brindando oportunidades de participación y competición en igualdad de condiciones. Actualmente se ha convertido en una actividad popular y beneficiosa para las PCD, ya que les permite desarrollar habilidades acuáticas, mejorar su salud y bienestar, y participar en competiciones a nivel local, nacional e internacional.

La natación adaptada es regulada directamente por el Comité Paralímpico Internacional. Las reglas de este deporte están adaptadas de las reglas establecidas por la Federación Internacional de Natación (FINA). La mayoría de las reglas son compartidas. Las diferencias más significativas se relacionan con la posición de partida y aquellas relacionadas con nadadores con discapacidad visual.

El Comité Paralímpico Internacional establece tres grandes categorías:

- Categorías 1-10: que comprende a las personas con discapacidades físicas como pérdida de uno o varios miembros como brazos y piernas, ya sea de forma congénita o no, competidores con parálisis cerebral o lesiones de médula espinal, deportistas con enanismo y/o discapacidades que dificultan el uso de las articulaciones del cuerpo.
- Categorías 11-13: comprende a las personas con discapacidades visuales.
- Categoría 14: donde compiten las personas con discapacidad intelectual [14].

Las PCD visual que participan en competiciones de natación adaptada deben respetar las diferentes categorías de clasificación establecidas con el fin de competir en igualdad de condiciones. La clasificación se basa en el nivel de visión de los nadadores y se realiza mediante evaluaciones y pruebas específicas. Las categorías más comunes son: S11, S12 y S13, donde S11 representa la ceguera total y S12 - S13 representan la baja visión. Dentro de la categoría S11 todos los nadadores deben competir con antifaces a fin de evitar que quienes puedan percibir luminosidades tengan ventaja deportiva. La "S" delante del número de la clase se refiere a la categoría del nadador para las pruebas de estilo libre, espalda o mariposa [15].

6.3.1 Reglas especiales

La natación adaptada implica reglas específicas para satisfacer las necesidades de los nadadores con discapacidad, garantizando así la seguridad y la igualdad de oportunidades en la competición. Algunas de estas reglas particulares incluyen:

- Clasificación: Se realiza para agrupar a los atletas en categorías según su nivel de capacidad visual, asegurando una competencia justa al enfrentarse a otros con niveles similares.
- Adaptaciones en la salida: Los nadadores con discapacidad visual pueden necesitar ajustes en la forma en que inician la carrera, como señales auditivas o táctiles, para asegurar que comienzan la competencia al mismo tiempo que los demás competidores.
- Adaptaciones en el viraje: En el momento del viraje, dependen de asistentes que utilizan una varilla llamada "tap" para tocar su cabeza y avisarles que deben cambiar de dirección.
- Uso de asistentes: Los asistentes acompañan a los nadadores durante la competición, proporcionando información sobre su posición y distancia en relación a la pared y otros competidores.
- Uso de elementos de seguridad: Para orientarse y mantenerse seguros, pueden utilizar corcheras laterales o flotadores adicionales.
- Adaptaciones en la rutina de entrenamiento: Los entrenadores ajustan el entrenamiento para satisfacer las necesidades y capacidades de los atletas, incorporando ejercicios de orientación táctil, estímulos sonoros o táctiles, y adaptando las técnicas de nado.

- Competición en equipo: Se fomenta la inclusión y el trabajo en equipo mediante competiciones de relevos, donde atletas con y sin discapacidad visual forman equipos para competir en igualdad de condiciones.

Los eventos de natación adaptada son similares a los de la natación convencional, incluyendo distancias de 50, 100 y 400 metros en estilos libre, pecho, espalda y mariposa, así como pruebas individuales y postas, con divisiones por género.

6.3.2 Entrenamiento

El entrenamiento en natación adaptada enfoca en desarrollar habilidades acuáticas, mejorar la condición física y optimizar el rendimiento deportivo. Los nadadores reciben un entrenamiento especializado que se adapta a sus necesidades y capacidades, con el objetivo de maximizar su potencial y permitirles competir en igualdad de condiciones con otros nadadores.

Antes de iniciarse en cualquier estilo de natación, los entrenadores deben ayudar a sus alumnos con discapacidad visual a lograr confianza para desenvolverse en el medio acuático, ya que es un medio diferente y desconocido, el cual genera una sensación de peligro e inseguridad profunda.

El entrenamiento incluye ejercicios y técnicas específicas, como la orientación táctil y estímulos sonoros, para ayudar a los nadadores a mantener una dirección recta durante el nado [16]. Los nadadores con discapacidad visual también reciben entrenamiento en técnicas de navegación táctil y viraje, las cuales son cruciales para prevenir los posibles accidentes. Además, se implementan medidas de seguridad, como la presencia de entrenadores o asistentes en la piscina y el uso de corcheras o flotadores, para garantizar la seguridad de los nadadores.

6.3.2.1 Fase de familiarización

Los objetivos de esta fase son similares a los de personas videntes: aprender a flotar, soplar y respirar, zambullirse, desplazarse y hacer giros para tener un mínimo dominio del medio acuático. La metodología sugerida para PCD visual es comenzar con la adaptación al medio, seguida de desplazamientos, flotación, giros y zambullidas. Es importante enseñarles que el agua es transparente y que se puede ver a través de ella; es decir, que en la pileta los entrenadores no los perderán de vista. La propulsión y la flotación son elementos clave, ya que permiten una mayor percepción del espacio y una sensación de seguridad. Los giros y las zambullidas se introducen más adelante. Es recomendable tener grupos reducidos de PCD visual para poder brindarles la atención necesaria, mientras que si el grupo es mixto, el tamaño del mismo puede ser un poco mayor [16].

6.3.2.2 Fase de desarrollo de las habilidades y destrezas básicas

Las habilidades y destrezas básicas en el medio acuático, especialmente para PCD visual, requieren una reeducación motriz debido a los cambios en la gravedad y densidad del agua en comparación con la tierra. El objetivo principal de esta fase es el dominio del medio acuático, incluyendo desplazamientos, giros, zambullidas, y lanzamientos/recepciones [16].

La progresión se basa en desplazamientos nadando ventral y dorsalmente, con énfasis en la globalidad y ritmo de los movimientos en lugar de la técnica de los estilos de nado. Se utilizan movimientos globales y complejos que sean comprensibles para los alumnos, como la braza y el delfín, debido a la falta de símiles y demostraciones visuales [16]. La braza es adecuada debido a que es un movimiento natural para muchas PCD visual y permite una mayor información sensorial y seguridad debido a la posición de la cabeza fuera del agua. El delfín se utiliza debido a que muchos niños conocen cómo se mueven los peces en el agua y permite utilizar la imaginación del alumno en el proceso de aprendizaje.

6.3.2.3 Desarrollo de las tareas específicas: el trabajo de técnica

En el aprendizaje de deportes, la imitación de un modelo "ideal" es crucial, pero en deportes para PCD visual, la imitación visual no es posible [16]. Por lo tanto, los entrenadores en este caso utilizan herramientas como descripciones detalladas, demostraciones táctiles y feedback concurrente durante la ejecución de la técnica.

Los objetivos se enfocan en correcciones técnicas y enseñanza de estilos reglados de nado. La mariposa se enseña al final, mientras que la brazada de crol es preferida para estos nadadores. Se utiliza el método analítico para el aprendizaje de estilos, virajes y salidas, y se busca el dominio global de los estilos de competición [16].

Progresión del aprendizaje de los desplazamientos

Se utiliza un enfoque global de enseñanza para todos los estilos de nado, con el objetivo de mejorar el ritmo de nado, automatizar gestos técnicos, coordinar la respiración y el movimiento de piernas, mejorar la posición del cuerpo en el agua, coordinar los movimientos de brazos y mejorar la eficiencia de propulsión. Para las PCD visual, se analiza específicamente los virajes y salidas debido a las dificultades de coordinación sin referencia visual.

Progresión de los virajes

Para el aprendizaje de los virajes, se utiliza un enfoque analítico que incluye enseñar giros en el centro del carril, deslizamientos ventrales, dorsales y laterales, combinación de giros pegados a la pared con deslizamientos, aproximación a la pared con ayuda táctil, y finalmente el viraje completo. Se emplean diferentes métodos para asegurar que los nadadores con discapacidad visual reciban información sobre la proximidad de la pared, como colchonetas flotantes, tiras de plástico con burbujas de embalar, gomas elásticas, sistemas de aviso elevado y ambientadores.

Progresión de las salidas

Las salidas de competición en natación presentan dificultades en el salto y la zambullida, requiriendo valor y confianza. Se observan errores y deficiencias en las salidas desde fuera del agua, como postura incorrecta, lentitud en la señal y tiempo de reacción, falta de salto, vuelo rígido y entrada plana en el agua. Las salidas de espalda también presentan deficiencias debido al temor, déficit del esquema corporal, hiperextensión de columna y cuello, hipotrofias musculares y problemas de coordinación. Se realizan progresiones fuera y dentro del agua para mejorar las salidas, como ejercicios de lumbares, inmersiones y saltos en diferentes profundidades y parábolas.

6.3.3 Consideraciones en infraestructura

Los entrenadores deben considerar ciertas características en cuanto a las instalaciones más aptas para la enseñanza de natación de PCD visual. El espacio que rodea a la piscina debe contener pocas columnas para evitar tropiezos, así mismo las puertas deben estar totalmente abiertas o cerradas para facilitar el ingreso y salida de los nadadores, siendo recomendable evitar los escalones.

En el interior de la piscina, es importante tener una clara delimitación entre las zonas profundas y las poco profundas, asegurando que estas áreas sean lisas y suaves, sin bordes cortantes o afilados. Para evitar colisiones, se recomienda utilizar un sistema de aviso al realizar los virajes. Además, se debe emplear material antideslizante en las escaleras y el suelo, ya que estas superficies suelen estar mojadas de manera constante. Es esencial mantener los pasillos y los vestuarios libres de objetos innecesarios y evitar cambiar la ubicación del mobiliario, ya que

esto podría generar obstáculos. Los alrededores de la piscina deberían tener por lo menos una anchura mínima de medio metro, para de esta manera evitar los accidentes entre las personas.

Por otro lado, la piscina se recomienda que sea de dimensiones reducidas y con un techo bajo, lo que facilita una mejor audición de las instrucciones del entrenador. Este aspecto adquiere gran importancia, ya que éste dirige al nadador de manera continua, y es crucial que se pueda seguir las indicaciones de manera secuencial. Para lograr ésto, es esencial contar con un sistema de altavoces en la piscina, lo que permite una orientación más efectiva [17].

6.3.4 Competición

6.3.4.1 Organismos de natación para ciegos

Los deportes para PCD visual están organizados a través de la Asociación Internacional de Deportes para Ciegos, IBSA (International Blind Sports Association) [18]. La IBSA está formada por las federaciones nacionales de deportes para PCD visual de todo el mundo.

En nuestro país se encuentra la Federación Argentina de Deportes para Ciegos (FADeC) [19], la cual es una organización federativa de la Argentina, creada en 1988, destinada a organizar, reglamentar y promover el deporte entre las PCD visuales. Tiene su sede en Buenos Aires.

Tipos de competición para personas con discapacidad visual:

La IBSA establece las siguientes pruebas de competición:

| HOMBRES | |
|--------------------|-------------------------------|
| Libre | 50m. 100m. 200m. 400m. 1500m. |
| Espalda | 50m. 100m. 200m. |
| Braza | 50m. 100m. 200m. |
| Mariposa | 50m. 100m. 200m. |
| Estilos individual | 200m. 400m. |

| MUJERES | |
|--------------------|------------------------------|
| Libre | 50m. 100m. 200m. 400m. 800m. |
| Espalda | 50m. 100m. 200m. |
| Braza | 50m. 100m. 200m. |
| Mariposa | 50m. 100m. 200m. |
| Estilos individual | 200m. 400m. |

| RELEVOS | |
|----------------|----------------|
| Libre | 4x50m. 4x100m. |
| Estilos | 4x50m. 4x100m. |

Figura N° 2: Tipos de competición.

En todas las competiciones se incluyen nadadores clasificados en tres categorías según el grado de discapacidad visual. Los Campeonatos mundiales se llevan a cabo en piscinas de 50m, con ocho carriles o más [20].

6.4 Usabilidad

6.4.1 Marco normativo: ISO 9241-11:2019

La norma ISO 9241 hace referencia a los estándares de calidad en usabilidad y ergonomía. En el presente proyecto, al estar trabajando con un dispositivo que se encontrará colocado sobre el cuerpo de los nadadores, es de suma importancia que esta norma sea tenida en cuenta a la hora de diseñar el producto. En la misma se recomienda utilizar la definición y el marco de la usabilidad desde el inicio de todo proceso de desarrollo, con el fin de establecer una comprensión común del concepto de usabilidad, abordando la amplitud de los problemas asociados con la usabilidad de los productos.

La ISO 9241 es amplia y cubre muchos aspectos para indagar en términos de usabilidad es necesario hacer foco en el apartado 11, que proporciona pautas y directrices para llevar a cabo evaluaciones de usabilidad, incluyendo la selección de métodos de evaluación, la planificación y ejecución de pruebas de usabilidad, y la recopilación y análisis de datos. También aborda aspectos como la interpretación de los resultados de la evaluación, la identificación de problemas de usabilidad y la presentación de los hallazgos a los interesados relevantes.

La versión del apartado 11 más actual es la publicada en el año 2019: ISO 9241-11:2019 - Ergonomía de la interacción hombre-sistema - Parte 11: Usabilidad: Definiciones y conceptos [21]. Esta normativa define la usabilidad como la capacidad que tiene un producto de ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar objetivos concretos de la manera más efectiva, eficiente y satisfactoria en un contexto determinado de uso, siendo estos últimos tres los aspectos claves para una adecuada usabilidad.

La medición de la usabilidad es particularmente importante en vista de la complejidad de las interacciones entre el usuario, los objetivos, las características de la tarea y otros elementos del contexto de uso. Esta información permite tomar decisiones objetivas sobre la necesidad de cambios en el diseño para mejorar la usabilidad y sobre las compensaciones que pueden ser apropiadas entre la usabilidad y otros requisitos.

Bajo esta premisa, la normativa explica cómo identificar la información necesaria al especificar o evaluar la usabilidad de un dispositivo empleando la medida de los resultados obtenidos por el usuario y su propia satisfacción. Si bien incluye procedimientos para medir la usabilidad, no detalla todas las actividades que deben emprenderse, la especificación de métodos de medición está fuera de su alcance.

6.4.2 Especificación de la usabilidad

Para especificar o medir la usabilidad debe trabajarse con atributos mensurables y verificables. Es necesario entonces, identificar los objetivos previstos, definir los componentes del contexto de uso y establecer los valores de eficacia, eficiencia y satisfacción para los contextos previstos.

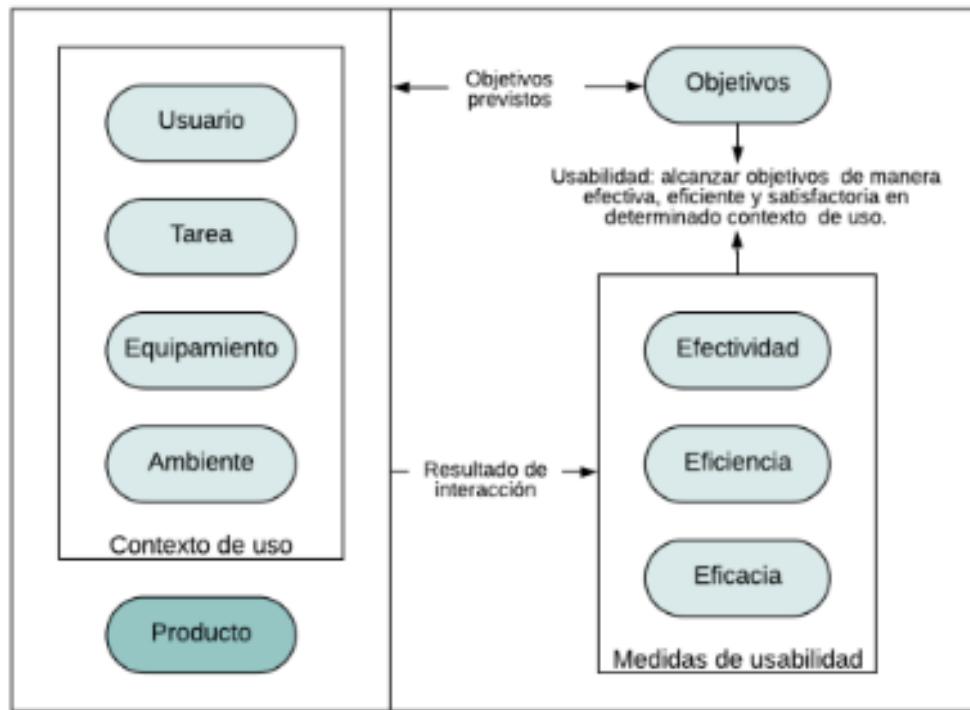


Figura N° 3: Marco de usabilidad, componentes y su relación entre ellos

6.4.2.1 Descripción de los objetivos

Las metas pueden descomponerse en sub-objetivos que especifiquen los componentes de una meta general y los criterios que satisfagan esa meta. El nivel al que se fija el objetivo general depende de los límites del sistema de trabajo que se está considerando y que proporciona el contexto de uso.

6.4.2.2 Descripción del contexto de uso

- Tareas. Las tareas son las actividades emprendidas para lograr un objetivo. A efectos de evaluar la usabilidad, se seleccionará normalmente un conjunto de tareas clave que representen los aspectos significativos del producto. Deben describirse todas las actividades y pasos involucrados en la realización de la tarea relacionados con los objetivos que se pretenden alcanzar.
- Usuarios. Es necesario describir las características relevantes de los usuarios. Estos pueden incluir conocimiento, habilidad, experiencia, educación, entrenamiento, atributos físicos y capacidades motoras y sensoriales.
- Equipo. Deben describirse las características pertinentes del equipo a utilizar para la ejecución del producto.
- Entornos. Entre los aspectos que tal vez sea necesario describir figuran los atributos del entorno técnico más amplio, el entorno físico, el entorno ambiental y el entorno social y cultural.

6.4.2.3 Medidas de usabilidad

Para determinar el nivel de usabilidad alcanzado, es necesario medir el rendimiento y la satisfacción de los usuarios que trabajan con un producto. Normalmente es necesario prever al menos una medida para cada una de las métricas eficacia, eficiencia y satisfacción.

Dado que la importancia relativa de los componentes de la usabilidad depende del contexto de uso y de los fines para los que se describe la usabilidad, no existe una regla general sobre cómo deben elegirse o combinarse las medidas. La elección de las medidas y el nivel de detalle de cada una de ellas depende de los objetivos de las partes implicadas en la medición. Si no es posible obtener medidas objetivas de eficacia y eficiencia, las medidas subjetivas basadas en la percepción del usuario pueden proporcionar una indicación de eficacia y eficiencia.

- Eficacia. Las medidas de eficacia relacionan los objetivos o sub-objetivos del usuario con la precisión y la exhaustividad con la que se pueden alcanzar estos objetivos.
- Eficiencia. Las medidas de eficiencia relacionan el nivel de eficacia alcanzado con el gasto de recursos. Los recursos relevantes pueden incluir el esfuerzo mental o físico, el tiempo, los materiales o el costo financiero.
- Satisfacción. La satisfacción mide la medida en que los usuarios están libres de molestias, y sus actitudes hacia el uso del producto. La satisfacción puede especificarse y medirse por la calificación subjetiva en escalas tales como la incomodidad experimentada, el gusto por el producto, la satisfacción con el uso del producto o la aceptabilidad de la carga de trabajo cuando se llevan a cabo diferentes tareas, o la medida en que se han alcanzado determinados objetivos de usabilidad. Otras medidas de satisfacción podrían incluir el número de comentarios positivos y negativos registrados durante el uso.

6.4.3 Medición de la usabilidad

En varias etapas del proceso de desarrollo, es posible medir la usabilidad lograda con el fin de constituir un producto de interés de uso sencillo, seguro y confiable para el usuario. Esta información permite tomar decisiones objetivas sobre la necesidad de cambios en el diseño para mejorar la usabilidad, y sobre las compensaciones que pueden ser apropiadas entre la usabilidad y otros requisitos.

Por último, la normativa recomienda documentar y verificar la usabilidad como parte de un plan de calidad, graficando la relación entre estas actividades y los documentos resultantes y otras formas de producción en la imagen que se presenta a continuación.

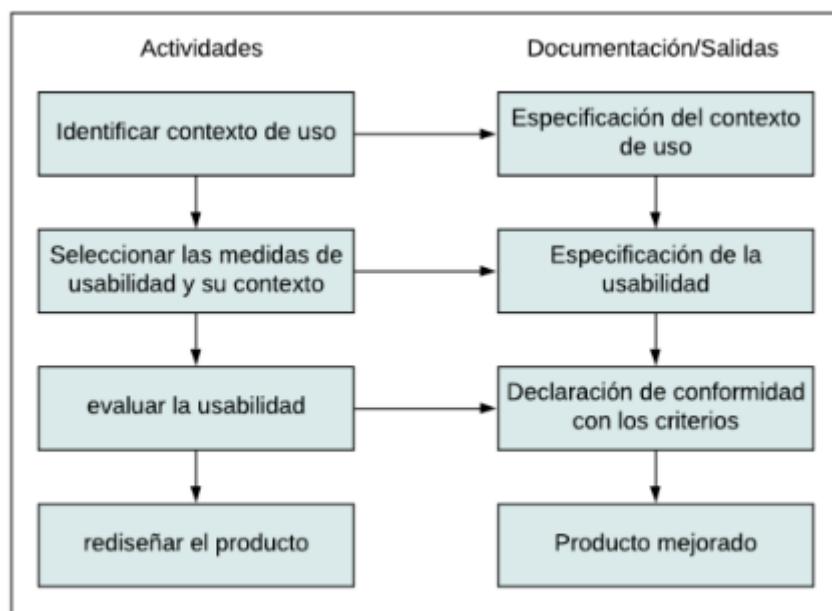


Figura N° 4: Plan recomendado para el análisis de usabilidad

6.5 Diseño centrado en el usuario

6.5.1 Marco normativo: ISO 9241-210:2019

El diseño centrado en el usuario (DCU) es un modelo de aproximación multidisciplinar al diseño de sistemas interactivos, que se basa en identificar los procesos y necesidades de información conforme a los perfiles de los usuarios de dicho sistema, para convertirlo en lo más usable posible. De acuerdo al DCU, los productos deberían hablar el idioma de los usuarios, más que el de las organizaciones e individuos que los produjeron.

La normativa ISO 9241-210:2019 - Ergonomía de la interacción hombre-sistema - Parte 210: Proceso de diseño centrado en el usuario" [22] define al DCU como un enfoque para el desarrollo de sistemas interactivos que tiene como objetivo hacer que los sistemas sean utilizables y útiles; centrándose en los usuarios, sus necesidades y requisitos, aplicando factores ergonómicos como así también conocimientos y técnicas de usabilidad. Este enfoque aumenta la eficacia y la eficiencia, mejora el bienestar humano, la satisfacción de los usuarios, la accesibilidad y la sostenibilidad; mientras que contrarresta los posibles efectos adversos del uso sobre la salud, la seguridad y el rendimiento humano.

6.5.1.1 Principios

La ISO 9241-210 [22] define y describe los seis principios clave que se deben seguir para que un diseño garantice estar centrado en el usuario:

Principio 1: El diseño se basa en el entendimiento explícito de los usuarios, tareas y ambientes.

En concordancia con la normativa ISO 9241-11 desarrollada anteriormente; este principio indica que a la hora de diseñar un producto es necesario identificar los potenciales usuarios del mismo. Además, deberá conocerse el contexto de uso para entonces poder establecer cuáles serán los requerimientos.

Principio 2: Los usuarios están involucrados durante el diseño y desarrollo.

Involucrar a los usuarios durante el diseño y en la fase de desarrollo da una infinidad de información acerca del contexto de uso, las tareas a realizar y cómo es que los usuarios usarán el producto en un futuro. A través de los métodos de investigación con usuarios, es posible extraer información muy valiosa para evaluar las soluciones o propuestas de diseño. Los participantes reclutados deben de tener las habilidades, características y experiencias que reflejan al tipo de usuario para el cuál se está diseñando el sistema.

Principio 3: El diseño es impulsado y refinado por la evaluación centrada en el usuario.

La retroalimentación de los usuarios es una fuente de información fundamental en el DCU. Evaluar los diseños con los usuarios y mejorarlos basados en la retroalimentación de éstos, minimiza el riesgo de que el Sistema final no cumpla con los objetivos de los usuarios o del negocio. Las evaluaciones de diseño preliminares probadas en contextos de uso reales ayudarán a refinar la solución progresivamente.

Principio 4: El proceso es iterativo.

Sin iteración, típicamente no puede ser logrado el diseño más apropiado para un sistema interactivo. La iteración debe ser usada progresivamente para eliminar dudas durante el desarrollo de este tipo de sistemas. Iterar implica que las descripciones, especificaciones y los prototipos sean revisados y refinados cuando nueva información es obtenida, con el fin de minimizar el riesgo de no cumplir con las necesidades del usuario.

Principio 5: El diseño contempla la experiencia completa del usuario.

La experiencia de usuario es la consecuencia de la presentación, funcionalidad y rendimiento del sistema, así como la respuesta, asistencia y capacidades del sistema, tanto en hardware como en software. También es la consecuencia de las experiencias pasadas del usuario, sus actitudes, habilidades, hábitos y personalidad.

Principio 6: El equipo de diseño incluye habilidades y perspectivas multidisciplinarias.

El equipo de DCU no necesita ser grande, pero necesita ser lo suficientemente diverso para colaborar y tomar decisiones apropiadas durante el diseño e implementación. Los proyectos se benefician de la creatividad y de las ideas adicionales con la interacción y colaboración de los miembros del equipo que, en conjunto, tienen una base amplia de habilidades.

6.5.2 Marco normativo: ISO 9999:2021

La norma ISO 9999:2021, titulada "Ayudas técnicas para personas con discapacidad - Clasificación y terminología" [23], establece un sistema estandarizado para describir y organizar los productos de apoyo utilizados por PCD. Esta norma proporciona un sistema de codificación numérica y una terminología uniforme que facilita la identificación, descripción, selección y uso de diferentes tipos de productos de apoyo, tales como dispositivos para la movilidad, comunicación, visión, audición, y otros.

La ISO 9999 es ampliamente utilizada por fabricantes, profesionales de la salud, terapeutas ocupacionales, diseñadores y otros especialistas involucrados en la provisión de ayudas técnicas para PCD. Esta norma permite una comunicación clara y consistente en el campo de las tecnologías asistivas, lo cual es fundamental para una adecuada identificación y selección de las mismas.

Para su uso, clasifica a las tecnologías en clases, subclases y divisiones. De acuerdo a la normativa, los títulos a nivel clase (Primer nivel de clasificación) cubren una amplia área de productos, por ejemplo "Productos de apoyo para la comunicación y la información". Los títulos a nivel de subclase (Segundo nivel de clasificación) describen una función especial, por ejemplo "Productos de apoyo para la lectura", dentro de la clase. Bajando el nivel de división, la descripción se vuelve más específica, son las clasificaciones detalladas (Tercer nivel de clasificación). Solo en los casos en que un producto de apoyo está destinado a ser utilizado por personas con una discapacidad específica, edad o sexo, se debería referir en el título a ese grupo.

En general, las partes de los productos de apoyo, los accesorios de los productos de apoyo, los productos de apoyo adaptados individualmente y las adaptaciones individuales en la vivienda y otros locales, se clasifican en la misma subclase o división del producto con el que estén asociados.

Las partes, los accesorios y las adaptaciones se clasifican por separado cuando están asociados con un grupo de productos de apoyo. En esos casos se clasifican lo más cerca posible del grupo al que están asociados, por ejemplo, "12 07 Accesorios para productos de apoyo para caminar". La clasificación se organiza de tal forma que todos los productos de apoyo pueden clasificarse sin ser sometidos a ensayos o medidas.

Las Clases se han creado de tal forma que no se superponen en la función general de otras clases. Las subclases se han creado de tal forma que no se superponen en la función específica de otras subclases. Las divisiones se han creado de tal forma que no se superponen con productos en otras divisiones.

La codificación está compuesta por tres pares de números de la forma XX-XX-XX, representando cada par al primer, segundo y tercer nivel de clasificación respectivamente.

6.5.2.1 Clasificaciones posibles para nuestro dispositivo según la norma ISO 9999

El dispositivo que alerta a un nadador con discapacidad visual cuando está llegando a los extremos de una piscina podría clasificarse en las siguientes categorías y subcategorías de la norma ISO 9999:

CLASE: 22 - Productos de apoyo para la comunicación y el manejo de la información.

SUBCLASE: 22 29 - Productos de apoyo para señalización, alarma y localización.

CLASIFICACIÓN DETALLADA 1: 22 29 06 - Sistemas de alarma de emergencia personal: Se incluyen, por ejemplo, alarmas de insulina, alarmas de caídas, alarmas de convulsiones para personas con epilepsia.

CLASIFICACIÓN DETALLADA 2: 22 29 12 - Sistemas de localización y seguimiento: Dispositivos para localizar o rastrear a una persona.

CLASE: 30 - Productos de apoyo para recreación y ocio.

SUBCLASE: 30 09 - Productos de apoyo para deportes.

CLASIFICACIÓN DETALLADA 3: 30 09 33 - Productos de apoyo para natación y los deportes acuáticos:

Productos que permiten a una persona participar en la natación y otros deportes acuáticos, incluyendo polo y esquí acuático.

6.5.3 Marco Normativo: ANMAT - Disposición 2318/2002

6.5.3.1 Reglamento Técnico Mercosur de Registro de Productos Médicos - Resolución GMC N° 37/96

Dentro de esta disposición los productos médicos están encuadrados según el riesgo intrínseco que representan para la salud del consumidor, paciente, operador o terceros involucrados, en las clases I, II, III o IV. Para el encuadramiento del producto médico en una de esas clases, deben ser aplicadas las reglas de clasificación descritas en el Anexo II de esta misma disposición [24].

6.5.3.2 Forma de Aplicación de acuerdo al Anexo II de la normativa

1. La aplicación de las reglas de clasificación se regirá por la finalidad prevista de los productos médicos.
2. Si un producto médico se destina a utilizarse en combinación con otro producto médico, las reglas de clasificación se aplicarán a cada uno de los productos por separado. Los accesorios se clasifican por sí solos, por separado del producto médico con el que se utilicen.
3. Los soportes informáticos (software) que sirvan para manejar un producto médico o que tengan influencia en su utilización se incluirán automáticamente en la misma categoría.
4. Si un producto médico no se destina a utilizarse exclusiva o principalmente en una parte específica del cuerpo, se considerará para su clasificación su uso más crítico.
5. Si para el mismo producto médico son aplicables varias reglas teniendo en cuenta las prestaciones que le atribuye el fabricante, se aplicarán las reglas que conduzcan a la clasificación más elevada.

6. A los efectos de la aplicación de la actual clasificación de los productos médicos a las Resoluciones aprobadas con anterioridad a la disposición se procederá de la siguiente forma:
- a - Clase I anterior corresponde a la Clase I.
 - b - Clase II anterior corresponde a la Clase II.
 - c - Clase III anterior corresponde a las Clases III y IV.

6.5.3.3 Reglas para clasificar los productos médicos

A fines de este proyecto integrador solo nos enfocaremos en el primer apartado de las reglas de clasificación, correspondiente a los Productos Médicos no invasivos. Las mismas son:

Regla 1: Todos los productos médicos no invasivos se incluirán en la Clase I, salvo que sea aplicable alguna de las reglas siguientes.

Regla 2: Todos los productos médicos no invasivos destinados a la conducción o almacenamiento de sangre, fluidos o tejidos corporales, líquidos o gases destinados a una perfusión, administración o introducción en el cuerpo entrarán en la Clase II:

- A. si pueden conectarse a un producto médico activo de la Clase II o de una Clase superior;
- B. si están destinados a ser utilizados para el almacenamiento o canalización de sangre u otros fluidos corporales o para el almacenamiento de órganos, partes de órganos o tejidos corporales. En todos los demás casos se incluirán en la Clase I.

Regla 3: Todos los productos médicos no invasivos destinados a modificar la composición biológica o química de la sangre, de otros fluidos corporales o de otros líquidos destinados a introducirse en el cuerpo se incluirán en la Clase III, salvo si el tratamiento consiste en filtración, centrifugación o intercambios de gases o de calor, en cuyo caso se incluirán en la Clase II.

Regla 4: Todos los productos médicos no invasivos que entren en contacto con la piel lesionada:

- a- se clasifican en la Clase I si están destinados a ser utilizados como barrera mecánica, para la compresión o para la absorción de exudados;
- b- se clasifican en la Clase III si se destinan principalmente a utilizarse con heridas que hayan producido una ruptura de la dermis y sólo puedan cicatrizar por segunda intención;
- c- se incluyen en la Clase II en todos los demás casos, incluidos los productos médicos destinados principalmente a actuar en el microentorno de una herida.

La clasificación del dispositivo según ANMAT - Disposición 2318/2002 - Resolución GMC N° 37/96 corresponde a la Clase I de productos médicos por ser una tecnología no invasiva de acuerdo a la regla 1. Esta clasificación se aplicaría en el caso de que el dispositivo se pudiera enmarcar como un producto médico.

7 Información relevante del Proyecto

7.1 Historia: Inicios del proyecto

La idea nace de un proyecto de estudiantes en el marco del trabajo integrador de la cátedra de Ingeniería en Rehabilitación, carrera de Ingeniería Biomédica de la Universidad Nacional de Córdoba, en el año 2021.

El equipo de desarrollo estuvo compuesto por cuatro estudiantes, quienes, ante las demandas planteadas por la Agencia Córdoba Deportes en cuanto a la práctica de natación adaptada, se propusieron crear una solución tecnológica innovadora y accesible para los nadadores con discapacidad visual.

El grupo decidió diseñar un dispositivo que ayude a estos nadadores a identificar el extremo de las piletas en su práctica deportiva, buscando fomentar que éstas sean cada día más inclusivas y permitirles una mayor autonomía en su práctica.

A lo largo del semestre, el equipo de estudiantes llevó a cabo una exhaustiva investigación sobre las tecnologías asistivas disponibles en el mercado. Además, establecieron contacto con nadadores con discapacidad visual y sus entrenadores, realizando entrevistas para delimitar los objetivos que el proyecto debía alcanzar. Gracias a este trabajo, lograron diseñar y desarrollar un primer prototipo que, aunque en un principio resultó funcional, presentó algunas limitaciones en su correcto funcionamiento.

7.1.1 Primer prototipo - NEMO

El dispositivo, en su inicio, constó de dos partes: Por un lado el gorro inteligente (receptor) y por el otro el sistema al borde de la piletta (transmisor), ambos conectados mediante módulos Bluetooth 2.0 modelo HC-05 (ver características técnicas en Anexo B). El primer dispositivo fue designado como “NEMO” por sus desarrolladores.

La detección del nadador se realizó mediante sensores ultrasónicos ubicados en el borde de la piletta, los cuales eran resistentes al agua y estaban calibrados para una zona de detección específica.

El aviso se generaba con motores vibradores de tipo moneda ubicados en el gorro inteligente. Este módulo se encontraba integrado en una placa perforada, y la misma encapsulada en una cubierta de cámara GoPro para garantizar su hermeticidad.

El proyecto finalmente fue presentado y publicado en la plataforma POSTA (<https://postaproject.org/single-project.php?id=119>), utilizada por la cátedra de Ingeniería en Rehabilitación para dar a conocer los proyectos que se desarrollan en la asignatura. Los proyectos abordados se presentan y publican en formato “open source”, con el fin de que sean accedidos por cualquier persona que tenga interés. Estos proyectos son reproducibles, existiendo la posibilidad de mejoras en el diseño y así obtener una retroalimentación dentro de la red que ayude a tener productos de mejor calidad para los usuarios. Es importante destacar que los estudiantes integrantes de este Proyecto Integrador son los desarrolladores iniciales de esta idea innovadora, que busca mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual y su inclusión en la práctica deportiva, a través de la utilización de tecnologías modernas.

7.2 Historia: Crecimiento del proyecto

El proyecto, que fue publicado en la plataforma POSTA, despertó gran interés y fue reproducido por otros estudiantes en Argentina y el mundo. Esto demuestra la importancia de

los proyectos Open Source y su impacto social en el mundo de la discapacidad. El diseño original evolucionó de la siguiente manera, en forma cronológica:

1. En enero de 2022 alumnos de la IUAV (Italia) tomaron el proyecto NEMO e hicieron una evolución cambiando la tecnología de funcionamiento pero principalmente concentrándose en la usabilidad, la forma del producto y el método constructivo, resultando en el proyecto ARGO. El mismo, también está publicado en POSTA (<https://postaproject.org/single-project.php?id=130>) como una mejora. En este proyecto los alumnos mejoraron el funcionamiento y la estética del producto tanto externa como internamente, agregando un módulo de carga inalámbrica para la batería y adaptaciones como por ejemplo código morse en el diseño externo para referenciar al usuario.
2. Durante el año 2022, el alumno de Diseño Industrial Rodrigo Lazcano Dequino, dirigido por el docente Diego Speroni, realizó la tesis de la carrera de Diseño Industrial (UNC) [25] en la misma temática, a raíz de la problemática planteada también por la Agencia Córdoba Deportes. Este dispositivo sugirió un cambio en el diseño original, dado que no había un módulo de aviso sobre el nadador sino que se empleaban parlantes sumergibles.
3. A partir de finales del 2022, se llevó a cabo la ampliación del equipo de trabajo, incorporando a los distintos integrantes que participaron en las diferentes versiones de los prototipos previos. Este equipo de trabajo se conformó bajo el nombre del proyecto “Dispositivo de aviso de fin de pileta” en la convocatoria “PROCODAS 2021 Proyectos de Tecnología para la Inclusión Social del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación” [26], la financiación fue aprobada bajo la resolución ministerial número “RESOL-2021-666-APN-MCT” a fines del año 2021, por un monto de \$1.500.000. Esto permitió desarrollar el proyecto por parte de un equipo interdisciplinario durante el año 2022, integrando conocimientos y experiencia adquiridos en las versiones anteriores, generando así un nuevo producto que presenta mejoras sustanciales en su funcionamiento y prestaciones.

Este proyecto representa claramente la potencialidad de la innovación colaborativa, reflejando la combinación de los aportes de todos los autores y la capacidad de crecimiento de las ideas dentro de los proyectos Open Source.

7.3 Equipo de trabajo

El proyecto de natación adaptada es resultado del desarrollo colaborativo de muchas personas, por ese motivo no es simple delimitar y definir brevemente el perfil de cada una. En la actual versión del proyecto, el equipo se encuentra conformado por:

7.3.1 Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales

Directores:

- Diego Beltramone (Director Argentino de POSTA),
- Lucia García Giacosa (Coordinadora de Operaciones POSTA).

Estudiantes:

- Rocio Eliana Fernández,
- Victor Manuel Juárez,
- Julieta Pagella,
- Aiassa Ludmila,
- Daniel Obernauer.

7.3.2 Agencia Córdoba Deportes

Director:

- Diego Brazzale.

7.3.3 Fundación Fablab Córdoba

Director:

- Alejandro Cragnolini.

7.3.4 Fundación Gaude

Coordinadoras:

- María Mercedes Rigo,
- Belén Navarrete.

7.3.5 Fundación por Igual Más

Coordinadores:

- Juan Pablo Vega,
- Ana Argento Nasser.

7.3.6 Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño

Profesor:

- Diego Speroni.

Estudiante:

- Rodrigo Lazcano Dequino (Diseñador Industrial).

7.3.7 Universidad IUAV de Venecia (ITALIA)

Profesor:

- Maximiliano Romero (Director del proyecto POSTA en Italia).

Estudiantes:

- Romero Daniela Bigon,
- Giuseppe Campanale,
- Sara Labidi.

7.4 Apoyo externo

7.4.1 Profesionales colaboradores

Se requirió la asistencia en ciertas cuestiones de programación y machine learning, por lo cual se acudió a un profesional en el área para despejar inquietudes. El programador que nos asistió fue el Ing. Diego González Dondo.

7.4.2 PROCODAS (Financiamiento Nacional)

PROCODAS es un Programa Nacional de Tecnologías e Innovación Social (PTIS) [27] y tiene como objetivo general promover la inclusión social mediante el desarrollo e implementación de tecnologías que mejoren la calidad de vida, fomentando las articulaciones entre el sector científico-tecnológico y las organizaciones sociales y territoriales.

Durante el proceso de desarrollo del dispositivo, los profesores del grupo de investigación tuvieron la iniciativa de buscar oportunidades de financiación para el proyecto. Se enteraron de la existencia de la beca nacional "PROCODAS" que ofrecía financiamiento a proyectos de tecnología asistiva para la discapacidad. Después de presentar el proyecto en equipo, el mismo fue seleccionado para recibir una financiación, permitiendo la mejora del dispositivo. Los miembros lograron aprovechar al máximo los recursos financieros obtenidos a través de la beca para mejorar la funcionalidad, la usabilidad y la calidad del dispositivo.

7.4.3 INNOVAR (Concurso Nacional)

El Concurso Nacional de Innovaciones INNOVAR [28] es la iniciativa pionera que fomenta la innovación y premia a quienes se atreven a inventar, crear y mejorar productos y servicios, a nivel federal.

El equipo de desarrollo fue invitado a participar y presentar el proyecto durante la decimoséptima edición de este concurso, en el predio ferial de Tecnópolis, ciudad de Buenos Aires, en Octubre del 2022.

En dicho evento, se obtuvo una distinción dentro de la categoría de "Innovaciones en universidades". Así mismo, el proyecto resultó elegido por el público, obteniendo el primer lugar en la votación organizada por la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (Agencia I+D+i) [29].

7.4.4 Piletas

Para el desarrollo de este trabajo fue de gran importancia el apoyo de las instituciones y sus profesionales, quienes brindaron el espacio para trabajar dentro de sus instalaciones y también detallaron sobre sus experiencias en el área.

Las piletas que colaboraron con este proyecto fueron:

- Estadio Mario Alberto Kempes - Córdoba Capital
- Best Club - Córdoba Capital
- Bucor - Córdoba Capital
- GyT - Salta

8 Diseño

8.1 Benchmarking

8.1.1 Definición

La etapa inicial de investigación se basó en un estudio de mercado o benchmarking. Esta es una metodología que evalúa y analiza los procesos, productos, servicios y/o demás aspectos de otras compañías o áreas. Proporciona un enfoque comparativo y lógico, orientado a comprender y evaluar de manera objetiva las fortalezas y debilidades de un determinado objeto de estudio. La intención es aprender de la experiencia de los demás para mejorar nuestro propio prototipo, buscando diseñar un prototipo moderno e innovar diferenciándolos del mercado existente [30].

Esta metodología se utilizó con el objetivo de obtener un panorama de los dispositivos disponibles para dar aviso de fin de piletas a PCD visual. Mediante el benchmarking investigamos qué tipos de tecnologías existían en el mercado actualmente. En este caso, el objeto de análisis consistió en la investigación web de dispositivos de asistencia en el deporte de la natación adaptada.

8.1.2 Justificación

Tomando en cuenta el avance actual de la tecnología en el mundo y las herramientas que ha dado a las personas, consideramos que deberían existir dispositivos comercializados que ayuden a las PCD en el ámbito deportivo de la natación adaptada. Resulta importante explorar cómo fueron concebidos y cómo son utilizados. Para ello resulta relevante estudiar y comprender, desde una perspectiva comparada como lo es el benchmarking, los dispositivos que asisten a los nadadores con discapacidad visual en la pileta y poder ver cuáles son sus principales características e impactos en las personas.

La razón principal que conduce a la realización del benchmarking parte de la necesidad de conocer todo el abanico de posibilidades disponible en el mercado y a partir de esto poder ir definiendo y teniendo cada vez más certezas de cuál será la forma que se espera que el dispositivo adopte; cuáles son los parámetros que se esperan replicar; y cuáles son los errores que se quieren evitar. Esto nos permite poder ver qué productos eran viables y se encontraban disponibles en el país para el prototipo.

8.1.3 Metodología

Para el presente proyecto se investigaron los dispositivos que actualmente se usan en natación adaptada para PCD visual buscando en páginas web, y entrevistando entrenadores especializados y nadadores en deporte adaptado. Para este análisis se buscó recopilar, procesar y clasificar la información sobre los productos encontrados.

Durante la investigación no se logró encontrar un dispositivo tecnológico que apunte a objetivos similares a los de nuestro proyecto y se comercialice en la actualidad.

La muestra identificada para la realización de este estudio de análisis comparativo se elaboró bajo una selección de más de cuarenta páginas webs provenientes de organismos públicos o privados, nacionales o internacionales, destacados por su papel en el impulso de plataformas Open Source, la gestión del conocimiento o el desarrollo en materia de discapacidad. La búsqueda se realizó tanto en fuentes publicadas en español como en inglés e italiano.

Las entrevistas se realizaron con entrenadores especializados en deporte adaptado, los cuales cuentan con su propia red de contacto entre profesionales para poder intercambiar posibles soluciones ante las problemáticas que se le presentan a ellos y sus nadadores durante la práctica del deporte. También se realizaron entrevistas a nadadores con discapacidad visual, quienes pudieron dar cuenta de sus dificultades en la práctica deportiva y sus expectativas ante los avances tecnológicos.

Desde este enfoque, tampoco se logró encontrar opciones de asistencia tecnológica para los nadadores que se usen actualmente además del tradicional tapper.

8.1.3.1 Tecnologías asistivas

8.1.3.1.1 Tapper

Se trata de una vara de aluminio que tiene en la punta un corcho o pelota, esta herramienta se utiliza justo en el momento en que el nadador está llegando al borde de la piscina y así impedir que se golpee. Se da un golpe leve en cualquier parte de la zona superior del cuerpo -brazo, cabeza o espalda-.



Figura N° 5: Tapper

8.1.3.1.2 Antiparras oscurecidas

Son gafas oscuras que se emplean para evitar cualquier paso de la luz y que ningún competidor se encuentre en ventaja respecto a otros. Ésto debido a que los nadadores pueden tener ceguera tanto parcial como completa.

8.1.3.1.3 Blind cap (samsung)

De momento solo es un prototipo, no está disponible en el mercado, pero sí cuentan con una web donde es posible ver todos los detalles de este producto [31]. Samsung desarrolló el primer gorro de natación con tecnología bluetooth incorporada, un gorro que permite guiar al deportista gracias a un sistema de vibraciones que sirven como alertas para que se consiga realizar el viraje en el momento adecuado.

Este gorro se sincroniza con el smartwatch Gear S2 o con el Samsung Galaxy S7 gracias a bluetooth, por lo que el entrenador se encarga de avisar al deportista con un solo movimiento desde el móvil. La señal del smartphone se traduce en vibración, por lo que el nadador puede voltear inmediatamente. Para que se realice la sincronización es necesario instalar la app Blind Cap en el móvil, compatible con cualquier dispositivo android [32].

8.1.4 Resultados

Los dispositivos con los que contaban los entrenadores para dar aviso a sus nadadores fueron: Auriculares sumergibles conectados con bluetooth al celular permitiendo a los entrenadores poner una canción para avisar, y parlantes resistentes al agua colocados por fuera de la pileta. No se encontraron datos del lanzamiento de Blind Cap al mercado. Estos métodos para dar aviso eran poco eficientes por lo cual se procedió a idear un método que mejore las falencias de estas estrategias utilizadas por ellos.

8.1.5 Entrevistas

Objetivo

Desarrollar un dispositivo usable, de utilización autónoma y segura que le informe al nadador cuándo realizar el giro -vuelta americana- por haber alcanzado el extremo de la pileta. Su uso estará orientado principalmente a cualquier persona con algún tipo de discapacidad visual - aunque no de forma exclusiva- que quiera practicar natación de forma recreativa o competitiva, con el fin de generar crecimiento personal e independencia. Se pretende llegar a un nivel de desarrollo técnico que permita fácilmente pasar de la producción artesanal actual a una producción industrial.

Para la realización de las entrevistas se establecieron una serie de pasos para la correcta implementación de las mismas:

Paso 1: Establecer grupo de usuarios target.

Para definir el mapeo de actores target a entrevistar se estableció contacto con las Fundación Por Igual Más y Fundación Gaudé. Las mismas pusieron en contacto al equipo con los posibles usuarios del producto, por lo que se procedió a pactar reuniones tanto individuales como grupales para poder recolectar la mayor cantidad de información posible.

Target

Grupo 1:

PCD visual que practican natación. Compuesto por dieciséis personas. Entre ellas nadadores y no nadadores.

Grupo 2:

Entrenadores. Compuesto por dos personas que trabajan en el entrenamiento de natación para PCD visual.

Grupo 3:

Entorno

- a. Pileta Kempes.
- b. Pileta GyE.

Grupo 4:

Instituciones

- a. FAdeC (Federación Argentina de Ciegos)
- b. Córdoba Deportes: Diego Brazzale
- c. Universidad Católica de Salta: Omar Cruz.

Paso 2: Planteamiento de objetivos de las entrevistas para estandarización en el grupo de trabajo

Objetivo principal:

- Conocer la relación de las personas con discapacidad visual y el deporte de natación. Cómo lo practican, cuáles son sus gustos, preferencias y necesidades.

Objetivo secundario:

- Prueba de usabilidad de los dispositivos. Relevar uso, feedback, etc.

Paso 3: Desarrollo de guión para entrevistas

El equipo de trabajo decidió seguir una metodología de brainstorming para crear la base de preguntas que se consideran necesarias para el armado del guión de la entrevista. En base a esto, se estableció que este diseño definitivo de la entrevista estaría dividido en cuatro partes.

- a. *Primera parte:* Presentación. Al tener un primer contacto presencial con los usuarios se consideró importante darles de forma detallada el objetivo del proyecto, contarles sobre el equipo de desarrollo (background, motivación en el proyecto, etc) y darles su espacio para que realicen su presentación. Todo esto con el objetivo de crear un vínculo de confianza y permitirles hablar libremente durante la entrevista, buscando la información necesaria.
- b. *Segunda parte:* Dinámica. La idea fue poder conocer la perspectiva de las personas que practican el deporte, ya sea que lo practiquen de manera recreativa, competitiva o tengan deseos de comenzar. Resultó de interés contar con la mayor cantidad de opiniones y experiencias posibles para poder entender, principalmente, cuál es la necesidad que tienen actualmente, si realmente les podría llegar a interesar un producto de este estilo y cuán significante podría ser para quienes lo necesitan. Se buscó dejar en claro que en los siguientes meses posteriores a la entrevista el prototipo se encontraría en fase de diseño y que una vez que se lograra uno funcional serían convocados para que lo prueben, dejando en claro que la intención era que participaran durante todo el proceso de la forma más activa posible.
- c. *Tercera parte:* Entrevista. Se buscó conocer la necesidad por parte del usuario; validar su necesidad y el interés hacia la tecnología propuesta; y último pero no menos importante, identificar su valoración hacia el producto: cuán significante es, cuánto estaría dispuesto a pagar, si le interesaría comprarlo de manera individual o bien exigir a la institución que asiste para que lo compre. Todas las entrevistas fueron grabadas para su posterior análisis y se realizó un registro fotográfico con los potenciales usuarios.
- d. *Cuarta parte:* Agradecer: “Gracias por dedicarnos tu tiempo y compartirnos tus ideas. Todo lo que nos compartiste es muy valioso y va a ayudar mucho para el proyecto. Esperamos que haya sido una buena experiencia para vos y que podamos encontrarnos pronto para seguir avanzando.”

Preguntas:

- ¿Cómo es tu vínculo con la natación? (¿qué simboliza para vos?)
- ¿Con qué frecuencia la práctica?
- ¿Dónde practicas natación? ¿En piletas de entrenamiento o piletas domésticas?
- ¿Cuando nadas, qué andarivel soles usar?
- ¿Cómo te afecta el movimiento del agua, de los andariveles laterales, de varios nadadores a la vez?

- ¿Cuáles son las complicaciones que puedes identificar para practicar el deporte?
- ¿Entrenas solo/a o siempre con entrenador?
- ¿Cómo realiza tu entrenador/a el aviso cuando está presente?
- ¿Cómo te imaginás que podría ser el aviso?
- ¿Mantenés algún horario regular de entrenamiento? (Mañana, tarde, noche)
- ¿Usás algún tipo de ayuda tecnológica en tu vida diaria? (entendiendo a éstas como bastón guía, apps del celular, etc)
- ¿Conocés algún producto pensado para la práctica de la natación que te haya interesado o gustado?
- ¿Algo que nos quisieras contar y que aún no te hayamos preguntado?

Información extra a recabar:

- Niveles sonoros en competencias.
- Características de piletas indoor y outdoor.
- Rayos UV (pileta outdoor).
- Condiciones de agentes externos: cloro, UV, etc.
- Temperatura del agua en su pileta actual durante el año.

8.2 Estudio ergonómico

8.2.1 Definición

Los usuarios poseen necesidades, deseos, preferencias, capacidades y limitaciones que las relacionan con los productos de determinada manera. Desde un punto de vista ergonómico, el diseño debe apuntar a satisfacer estas necesidades y deseos mejorando su relación con el producto. Este proceso de diseño se realiza buscando siempre la optimización del bienestar de las personas a partir de las características psicofísicas y requerimientos de los usuarios. Hay que tener en cuenta lo siguiente [33]:

- El cuerpo humano: su forma (morfología), dimensiones (antropometría), funcionamiento (fisiología), movimiento (biomecánica).
- El comportamiento humano: individual y social.
- Las relaciones con el entorno: su percepción (visión, audición, olfato, gusto, tacto), manipulación de elementos y la postura en relación con el cuerpo y el espacio (propiocepción).

8.2.2 Justificación

La ergonomía juega un papel muy importante en el proceso de diseño, por lo que se decidió tenerlo en cuenta durante el proceso de investigación. Se realizaron encuentros grupales con el equipo de trabajo para decidir cómo abordar este tipo de problemática [34].

Se decidió tener en cuenta lugares convenientes del cuerpo de las personas para colocar el dispositivo intentando que afecte mínimamente a la práctica del deporte. Luego se incluyó una serie de preguntas relacionadas al tema para ser respondidas por los usuarios en las entrevistas.

El propósito de este acercamiento radicó en definir los requerimientos del prototipo desde una perspectiva ergonómica. Se tomó máxima prioridad en este aspecto debido a que se trata de un deporte y debe ser lo más cómodo posible para sacarle el máximo provecho.

8.2.3 Metodología

Se diseñaron preguntas para entrevistar a los usuarios con el objetivo de orientar la investigación. Estas preguntas se centraron en las zonas en donde iría ubicado el dispositivo, qué tipo de aviso para viraje les resulta cómodo, y la distancia a la que debería realizarse el aviso.

8.2.4 Resultados

Se realizaron entrevistas individuales y en grupo. En ambas se tomó registro de audio para luego poder procesar de forma precisa las respuestas de los usuarios, analizando sus necesidades, deseos, requerimientos y limitaciones.

Se elaboró una tabla comparativa para poder sacar conclusiones coherentes. Luego se realizó una reunión y se decidió cómo enfocar el producto.

Se estudió a cada una de las entrevistas detenidamente, contrastando los resultados con los obtenidos durante el proceso de benchmarking. A partir del análisis se fueron modificando -y mejorando- los requerimientos de base.

De este trabajo se obtuvieron nuevos requisitos que no se habían tenido en cuenta hasta el momento como así también requisitos que reafirmaron lo ya planteado.

8.3 Entrevistas - Focus group

8.3.1 Definición

Esta técnica de investigación consiste en reunir a un conjunto de personas, informantes, para que expresen su opinión, debatan y contesten preguntas en torno a un tema o temas de interés para la investigación [35].

8.3.2 Justificación

El objetivo fué conseguir información y extraer perspectivas de sensación o creencia de las personas que actúan como freno o motivación para un determinado comportamiento. En este punto, el marketing busca actuar para definir una oferta o construir estrategias de venta. Los insights (perspectivas) permiten diseñar una solución lo más pertinente posible para el conjunto de usuarios al que se apunta.

Se utilizó el focus group tanto en la fase exploratoria como de validación. La duración de esta reunión por lo general es entre 1,5 a 2 horas y la cantidad sugerida de participantes es entre 4 y 6 personas.

8.3.3 Metodología

Al momento de realizar un Focus Group es necesario tener en cuenta [33]:

1. Contactar con las personas adecuadas que encajen con el criterio de búsqueda para realizar una buena selección de informantes.
2. Elaborar una guía de cómo será la sesión. Dividir los tiempos y comunicarle a la persona mediadora o facilitadora cómo será la dinámica.
3. Diseñar preguntas, flujo y estímulos que contendrá cada parte del Focus Group. Las preguntas pueden ser cerradas o abiertas. Siendo las primeras dicotómicas, de opción múltiple o escala de importancia. Mientras que las segundas apuntan a ser de asociación de palabras captando información relevante. El objetivo es obtener información de la mayor calidad posible de los participantes.

4. Transcribir, analizar y sintetizar los resultados. Se debe contar con la grabación completa de la sesión. A partir de ella, se transcribe toda la información obtenida, y se resume extrayendo los hallazgos más importantes. Con ellos, el siguiente paso es tomar la decisión de si son suficientes y pertinentes, o no, para pasar a la fase de diseño de una solución.

8.3.4 Resultados

Se realizó una reunión con el objetivo de proporcionar un producto más robusto y confortable para los usuarios. Estos últimos fueron contactados mediante las Fundaciones Por Igual Más y Gaude. Las sesiones fueron moderadas y dinamizadas de tal manera que se logre:

- Conseguir los objetivos planteados para el focus group.
- Detectar y tirar de hilos que surjan durante la sesión que sean relevantes o interesantes para la investigación.
- Conseguir la participación de todos y que no se centre la atención en unos pocos ni que haya influencia entre ellos.

8.4 Análisis de Entrevistas

En el contexto del presente proyecto, centrado en la creación de un dispositivo innovador, orientado a optimizar la experiencia de nadadores con discapacidad visual, las entrevistas desempeñaron un papel primordial en la obtención de insights cruciales.

8.4.1 Procesamiento de la información

Las entrevistas llevadas a cabo con diversos usuarios, cada uno con sus perspectivas y necesidades únicas, proporcionaron un información valiosa para comprender las expectativas y aspiraciones que rodean al dispositivo en desarrollo. En este punto se decidió hacer reuniones grupales con el equipo de trabajo para poder entender las necesidades y deseos de los usuarios, y cómo estas se pueden enlazar con la tecnología que se dispone en el momento para dar forma a la configuración y la funcionalidad del dispositivo.

8.4.2 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos fueron ordenados en la Fig. 6 según Factores (Funcionales, Ergonómico, Morfológico, Tecnológico, de Seguridad), siguiendo los siguientes términos para clasificar las necesidades detectadas de los usuarios:

- **Condicionante:** Es aquello que condiciona y marca un límite, no se puede cambiar ni negociar.
- **Requerimiento:** Es una petición o exigencia que el usuario hace, es todo lo que debe ser o hacer el producto.
- **Premisa:** Es la manera en la que se responde al requerimiento, debe ser específico, es directamente sobre el producto a diseñar.

A continuación se presenta el cuadro resumen que resultó de la síntesis de las entrevistas, destacando de manera organizada los condicionantes, requerimientos y premisas que han emergido como pilares fundamentales para la creación de un dispositivo verdaderamente innovador y adaptado a las necesidades de los nadadores con discapacidad visual.

| Factor | Condicionante | Requerimiento (<i>orden: prioridad</i>) | Comentarios | Premisa |
|-----------|--|--|--|--|
| Funcional | Dar aviso de que se encuentra cerca el fin de la pileta. | <p>El aviso debe ser de manera inalámbrica y automática.</p> <p>Debe poder utilizarse de forma autónoma.</p> <p>Debe ser un aviso mediante sonido y/o vibración.</p> | Debe estar en los 2 extremos. | <p>Comunicación inalámbrica:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bluetooth 2. LoRa 3. Zigbee 4. Wifi 5. Radio 433 MHz <p>Detección:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ultrasonido-Sonar 2. Cámara 3. Cámara 3D 4. Leapmotion 5. Kinect o similar 6. RFID (tarjetas y llaveros con antena, de los edificios) 7. Barrera IR 8. Detección de movimiento (como IR de alarma de casa) 9. Beacon 10. Detección de elemento que esté en el nadador y que mida distancia de alguna forma 11. Detector cambio de dirección(giroscopio + acelerómetro + cronómetro=distancia) <p>Tipo de aviso:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Motor vibrador 2. Auricular inalámbrico 3. Moneda vibrador 4. Vía ósea 5. Parlantes, buzzer, etc 6. Distintas frecuencias, distintas cadencias 7. Electroestimulación 8. Un solo elemento o 2, con efecto estéreo 9. Sistema que al vibrar expulse el agua y partículas de polvo |
| | Se usará en un ambiente acuático. | <p>Debe resistir estar sumergido hasta 2m de profundidad.</p> <p>El dispositivo debe ser</p> | Asegurar una eficiente interfaz de uso (botones, palancas, etc). | |

| | | | | |
|-------------|---|---|--|--|
| | | estanco. | Cierta vibración podría sacar algún resto de agua. | |
| | Las piscinas tienen máx. 50m de largo, 25m de ancho y 1,8m de profundidad. Los andariveles tienen 2,5m de ancho. | El dispositivo no debe ubicarse en la zona donde se realiza la vuelta por protección (donde el nadador hace contacto con la pared de la pileta). | | |
| | Hay otros nadadores en la pileta. | El dispositivo no debe estorbar (interrumpir ni distraer) al propio nadador ni a otros. No se debe confundir entre los nadadores. | No debe ser escuchado por nadie más que el usuario. Debe ser para este usuario en particular, que no moleste a otro ni se equivoque de destinatario | |
| Ergonómico | | El sonido no debe ser agudo ni constante. Debe ser simple de utilizar (usable). Se debe poder elegir el tono de sonido (regulable) y el modo de aviso (sonido y/o vibración). | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Para setear modos, podría ser un sistema capacitivo (tener en cuenta la presencia de agua). 2. Opción de interfaz con un celular. 3. Ver si debe estar en el mismo aparato. 4. Usar botones/materiales con indicaciones identificables por el usuario. |
| Morfológico | | Debe ser pequeño y liviano y pegado al cuerpo para comodidad de los usuarios (que no se note y no roce andariveles). | | |
| | La persona usa elementos básicos de nado (traje de baño, gorro y antiparras, tapones para el oído). | No debe afectar la hidrodinámica. Debe adaptarse (no debe interferir) con los elementos básicos de nado . Debe ser portable. | | |

| | | | | |
|--------------------|--|--|---|--|
| Tecnológico | | <p>No debe detectar andariveles (puede confundir).</p> <p>Debe ser inalámbrico.</p> <p>No debe tener delays.</p> <p>Sensado rápido y preciso.</p> <p>Repetibilidad: debe ser consistente: siempre debería funcionar igual para ayudar al rendimiento del nadador y mejorar la confianza en el dispositivo.</p> | | |
| Seguridad | | <p>Debe funcionar siempre (99%) y en tiempo.</p> | <p>Si no funciona, debe dar aviso.</p> <p>Debe tener redundancia.</p> | |

Figura N° 6: Clasificación de necesidades detectadas

El cuadro resumen resultante es un testimonio visual de la interacción entre las visiones de los usuarios y el enfoque técnico del proyecto. A través de este análisis, se aspira a brindar una comprensión más profunda de cómo las voces de los usuarios se han traducido en los cimientos y los planos para el desarrollo de un dispositivo que no solo cumpla con las expectativas, sino que las supere.

9 Investigación de tecnologías

9.1 Componentes

9.1.1 Lenguaje de programación

9.1.1.1 Python

Es un lenguaje de programación de alto nivel ya que contiene implícitas algunas estructuras de datos como listas, diccionarios, conjuntos y tuplas, que permiten realizar algunas tareas complejas en pocas líneas de código y de manera legible. Python cuenta con facilidades para la programación orientada a objetos, imperativa y funcional, por lo que se considera un lenguaje multi-paradigmas [36].

9.1.2 Entornos de Desarrollo Integrados (IDE)

IDE o Entorno de Desarrollo Integrado es un software que permite escribir código de software. Además, puede crear software compilando el código fuente. Es necesario automatizar la tarea de escritura. Los IDEs también tienen un depurador para probar diferentes programas. Un depurador ayuda a identificar los errores y problemas en el proyecto. Como resultado, podemos encontrar una solución a estos problemas, mejorando la calidad del producto [37].

9.1.2.1 Visual Studio

Es un entorno de desarrollo integrado, creado por la compañía Microsoft y disponible para sistemas operativos Windows, Linux y macOS, y a la vez es compatible con múltiples lenguajes de programación, tales como C++, C#, Visual Basic .NET, F#, Java, Python, Ruby y PHP, al igual que entornos de desarrollo web, como ASP.NET, fue lanzado en 1997, cuenta con versiones gratis y de venta [38].

También se le conoce como un editor de código fuente basado en componentes para crear aplicaciones eficaces y de alto rendimiento, que habilita el uso compartido de herramientas y facilita la creación de soluciones en varios lenguajes, este paquete permite programar contenidos informáticos gráficos de manera simple y accesible, Asimismo, dichos lenguajes utilizan las funciones de .NET Framework, las cuales ofrecen acceso a tecnologías clave para simplificar el desarrollo de aplicaciones web ASP y Servicios Web XML [38].

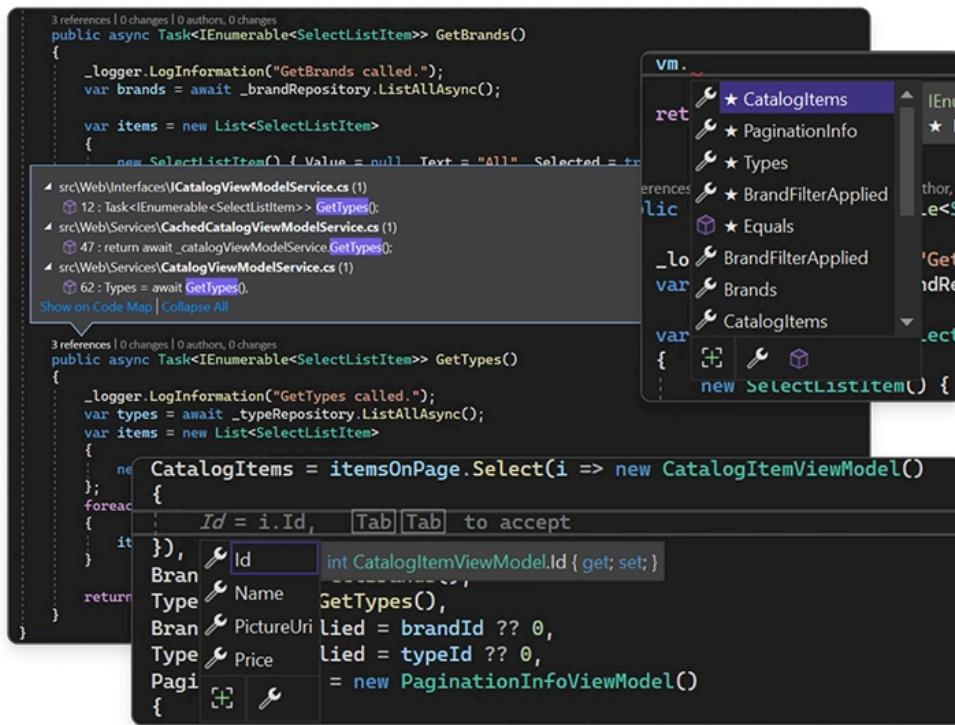


Figura N° 7: Entorno de desarrollo Visual Studio

9.1.2.2 Arduino IDE

Software gratuito y de “open source” diseñado específicamente para programar y desarrollar proyectos utilizando placas Arduino. Proporciona una interfaz intuitiva y fácil de usar que permite escribir, compilar y cargar el código en las placas Arduino de manera sencilla. Además, cuenta con una amplia biblioteca de funciones y ejemplos que facilitan el desarrollo de proyectos para principiantes y expertos en programación [39].

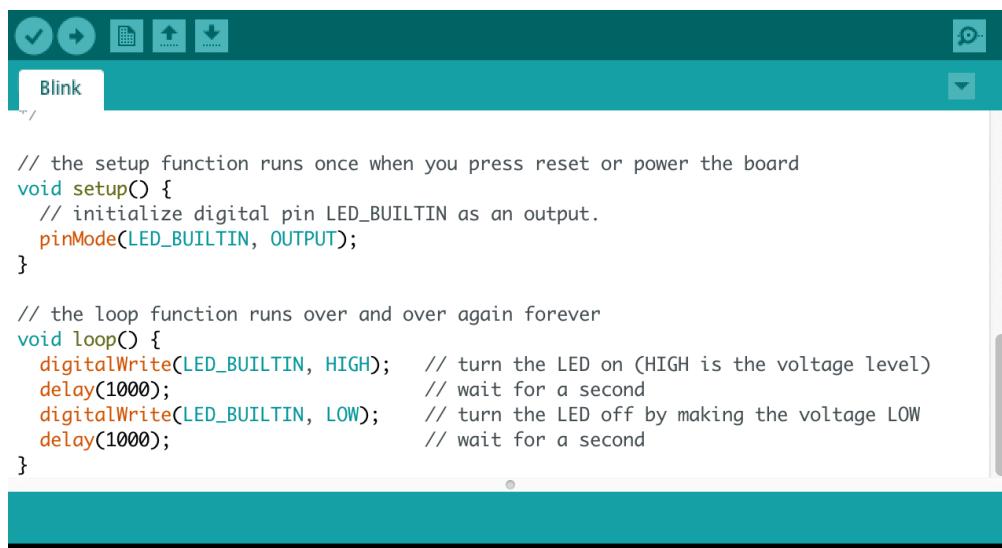


Figura N° 8: Entorno de desarrollo Arduino

9.1.2.3 MPLAB

Entorno de desarrollo integrado (IDE) diseñado para programar y depurar aplicaciones en lenguaje ensamblador para microcontroladores PIC de Microchip. Es ampliamente utilizado en el desarrollo de sistemas embebidos y ofrece funciones como un editor de texto con resaltado de sintaxis, un potente ensamblador y la capacidad de simular y depurar el código paso a paso. Estas características permiten a los programadores escribir y depurar código de manera eficiente, asegurando la correcta funcionalidad del software en los microcontroladores. MPLAB IDE es una herramienta valiosa para aquellos que trabajan con lenguaje ensamblador en proyectos de sistemas embebidos [40].

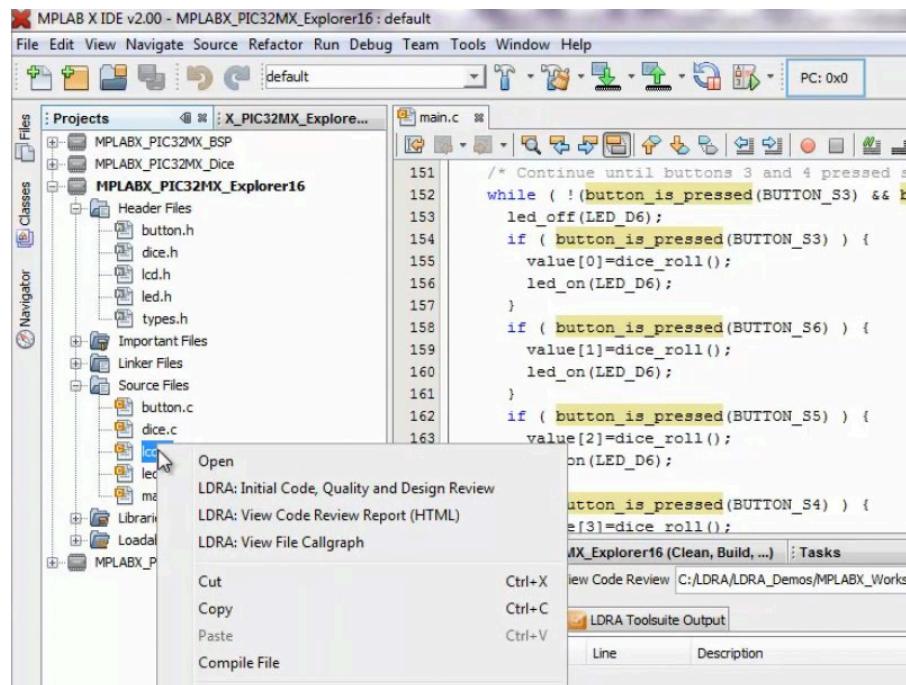


Figura N° 9: Entorno de desarrollo MPLAB

9.1.3 Microcontroladores

9.1.3.1 PIC 16F887

Microcontrolador CMOS de 8 bits basado en flash de encapsulado DIP de 40 pines. Este dispositivo es compatible con el modo de ahorro de energía en modo sleep, Power On Reset (POR), bajada de tensión de restablecimiento (BOR) con opciones de control de software[41].



Figura N° 10: Microcontrolador PIC 16F887

9.1.3.2 Arduino UNO

Placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P y desarrollado por Arduino. La placa se encuentra equipada con conjuntos de pines de I/O digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos. Tiene 14 pines digitales, 6 pines analógicos y programables con el Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado) a través de un cable USB tipo B. Puede ser alimentado por el cable USB o por una batería externa de 9 voltios, aunque acepta voltajes entre 7 y 20 voltios [42].



Figura N° 11: Placa arduino UNO

9.1.3.3 Arduino NANO

Placa de desarrollo de tamaño compacto basada en el microcontrolador ATmega328P. Es una versión más pequeña del Arduino UNO y ofrece una amplia gama de funciones y capacidades para prototipado y proyectos electrónicos [42].

Posee las mismas capacidades que un Arduino UNO, tanto en potencia del microcontrolador como en conectividad, solo se ve recortado en su conector USB, conector jack de alimentación y los pines cambian un formato de pines header [42].

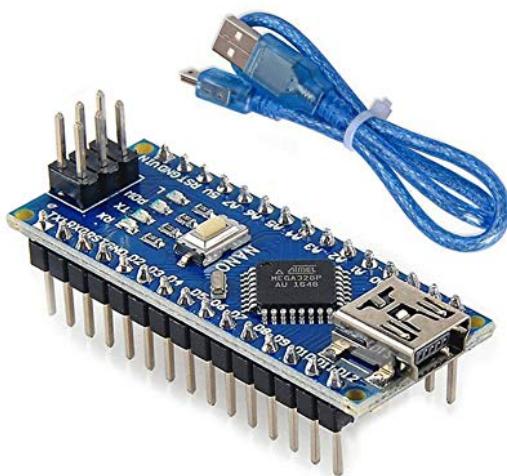


Figura N° 12: Placa arduino NANO

9.1.3.4 ESP32

Placa de desarrollo con comunicación inalámbrica Wi-Fi/Bluetooth integrada. Proporciona un procesador integrado de dos núcleos de procesamiento con frecuencias operativas pueden controlarse independientemente entre 80 y 240 Mhz. Los periféricos del procesador facilitan la conexión a una variedad de interfaces externas como: Interfaz periférica serial (SPI), I2C, Transmisor receptor asíncrono universal (UART), I2S, Ethernet, Tarjetas SD, Interfaces táctiles y capacitivas [43].

Hay variedad de módulos ESP32, nosotros usamos el ESP32-WROOM-32D. Funciona hasta 240 MHz. Contiene 4MB de flash y tiene 38 pines dispuestos para minimizar el tamaño. Su uso más común es para la conectividad inalámbrica mediante WiFi o Bluetooth, son de bajo costo y consumo [43].

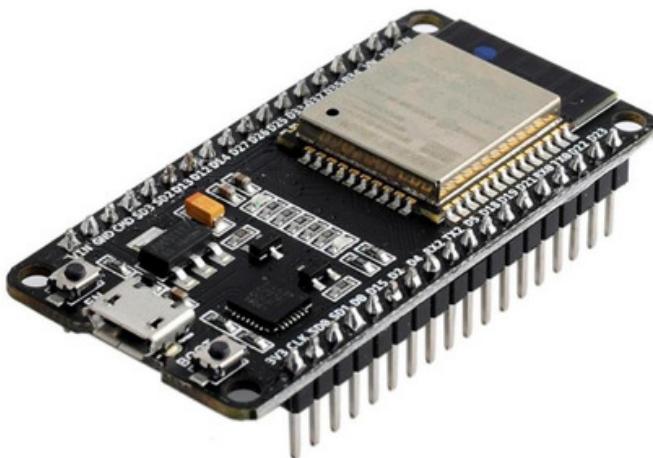


Figura N° 13: Placa esp32

9.1.4 Sensores para detección

9.1.4.1 Ultrasonido

9.1.4.1.1 Principio físico

El sensor ultrasónico emite cíclicamente un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración. Este impulso se propaga a la velocidad del sonido por el aire. Al encontrar un objeto, es reflejado y vuelve como eco al sensor ultrasónico. Este último calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal acústica y la recepción de la señal de eco [44].

Como la distancia hacia el objeto es medida por medio del tiempo de recorrido del sonido, y no por una medición de la intensidad, los sensores ultrasónicos son insensibles hacia el ruido de fondo. Prácticamente todos los materiales que reflejan el sonido son detectados, independientemente de su color. Aún materiales transparentes o láminas delgadas no presentan problemas para los sensores ultrasónicos [45].

Los sensores ultrasónicos normalmente permiten medir distancias por encima de los 20 mm (por debajo de este valor se considera una zona ciega), pudiendo indicar el valor medido con una precisión de milímetro, gracias a la medición del tiempo de recorrido. Los sensores funcionan en medio polvoriento o en una niebla de pintura. Depósitos delgados sobre la membrana del sensor tampoco influyen sobre la función [45].

El cálculo de distancia en aire se realiza de acuerdo a la siguiente fórmula [44]:

$$\text{Distancia} = (\text{Tiempo entre Trig y el Echo}) * \text{Vel Sonido (340 m/s)}/2$$

9.1.4.1.2 Sensor ultrasonido HC-SR04

Sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. De muy pequeño tamaño, el HC-SR04 se destaca por su bajo consumo, sencillez, gran precisión y bajo precio [46].



Figura N° 14: Sensor ultrasonido HC-SR04

9.1.4.1.3 Sensor ultrasonido JSN SR04T

Permite medir distancias de entre 25 centímetros a unos 4 metros aproximadamente. Además éste modelo es resistente al agua y lo hace ideal para utilizar en proyectos de exterior que están expuestos a la intemperie. El sensor es de reducido tamaño y puede ser empotrado, además incluye la placa amplificadora para poder utilizarlo con cualquier microcontrolador. El

funcionamiento no se ve afectado por la luz solar o el color de los materiales (aunque los materiales acústicamente permeables como tela o lana pueden ser difíciles de detectar) [47].



Figura N° 15: Sensor ultrasonido JSN SR04T

9.1.4.1.4 Sensor ultrasonido AJ SR04M

Similar al JSN SR04T en cuanto a características y pines de conexión. El diseño de la placa difiere, viene más compacto y sin el cable extensor para empotrar [48].



Figura N° 16: Sensor ultrasonido AJ SR04M

9.1.4.1.5 Sonar altímetro y ecosonda PING

El Sonar Altímetro y Ecosonda Ping de Blue Robotics es una ecosonda de un solo haz que se utiliza para diversas aplicaciones en el ámbito marino. Es compacta, puede medir hasta 300 metros de profundidad y tiene un ancho del haz de 30 grados. Utiliza un transductor piezoelectrónico para enviar pulsos acústicos y medir la distancia al eco más fuerte, como el fondo marino. También cuenta con un algoritmo de seguimiento del fondo para situaciones complejas. Es una herramienta potente para la robótica marina, con interfaz de usuario abierta y opciones de personalización [49].



Figura N° 17: Sonar altímetro y ecosonda PING

9.1.4.2 Algoritmos de detección en tiempo real

YOLO (You Only Look Once) es un algoritmo de detección de objetos que propone una aproximación de una sola pasada, lo que significa que realiza la detección y clasificación de objetos en una sola operación. La arquitectura de la red consiste en 24 capas convolucionales, intercaladas por capas de agrupación (max-pool). Todas las capas son convolucionales o de pooling, salvo las dos últimas, que están densamente conectadas. La última de ellas viene conformada por las neuronas selectoras y las neuronas clasificadoras [50]. Es conocido por su velocidad y eficiencia, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en tiempo real [51].

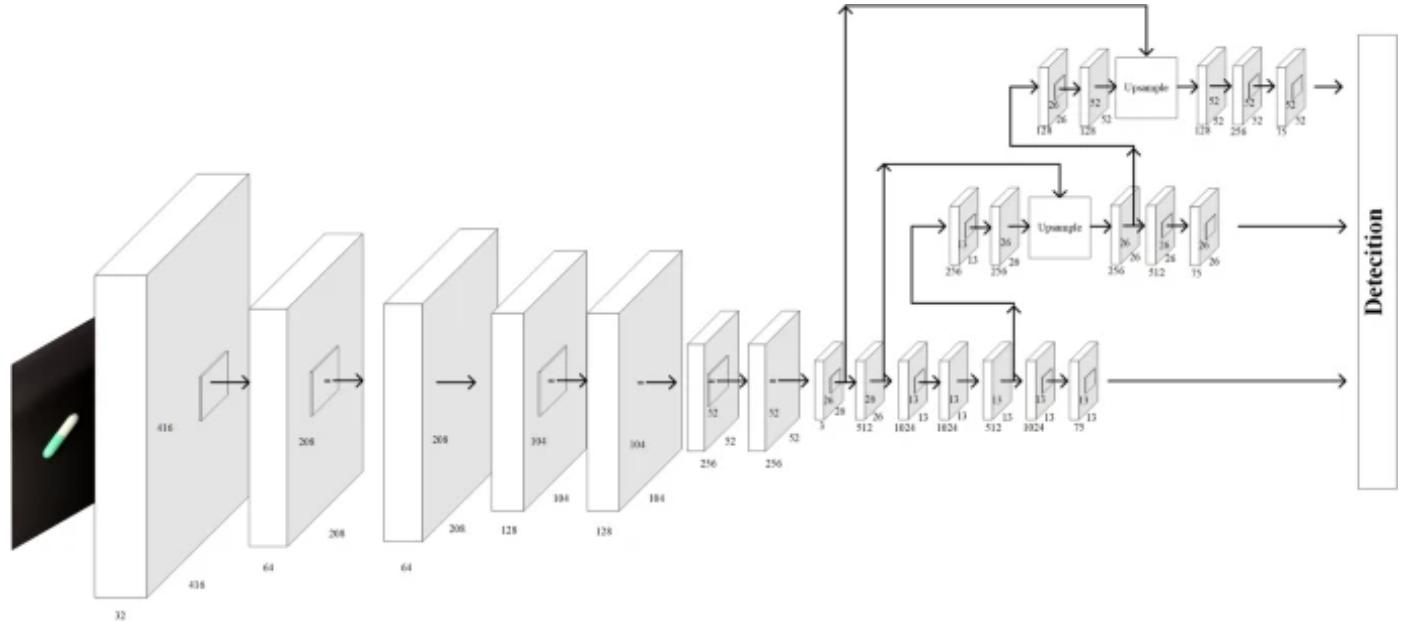


Figura 18 - Arquitectura de YOLOv3

SSD (Single Shot MultiBox Detector) es otro algoritmo de detección de objetos en tiempo real que se tuvo en cuenta en la investigación. En lugar de utilizar múltiples pasadas como otros algoritmos, utiliza múltiples cajas de detección en diversas escalas y aspectos para llevar a cabo la detección de objetos en una sola pasada. Este enfoque proporciona un equilibrio sólido entre precisión y velocidad [52].

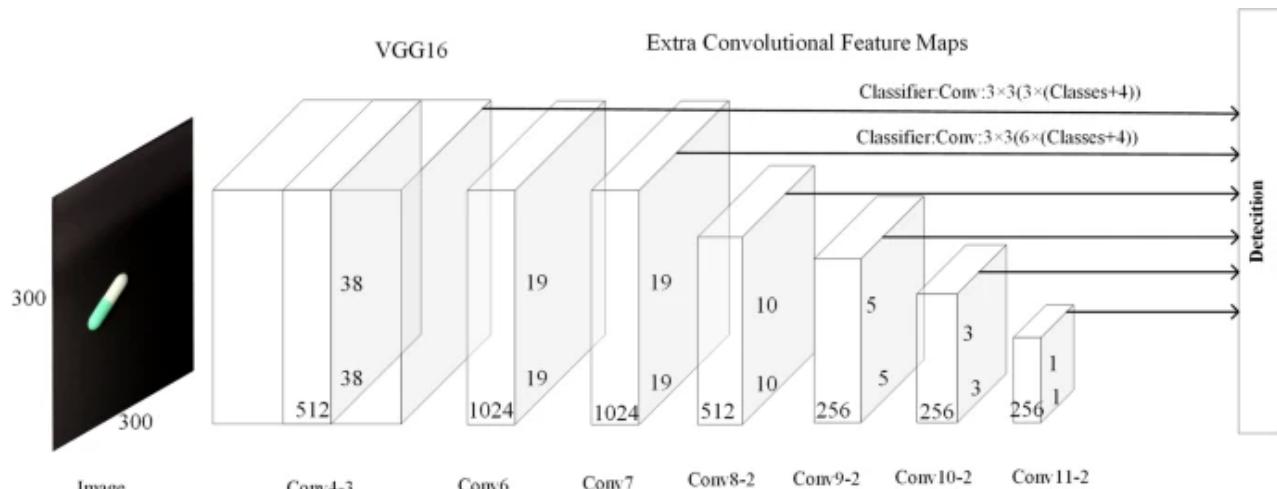


Figura 19 - Arquitectura de SSD

RetinaNet es un algoritmo basado en redes neuronales convolucionales que utiliza una arquitectura de "pirámide de características" para detectar objetos de diferentes escalas. Es conocido por su capacidad para detectar objetos pequeños y grandes con alta precisión. En el momento de su publicación fue superior a las primeras versiones de YOLO. Sin embargo, fue pronto superado por las mejoras aplicadas a YOLO [53].

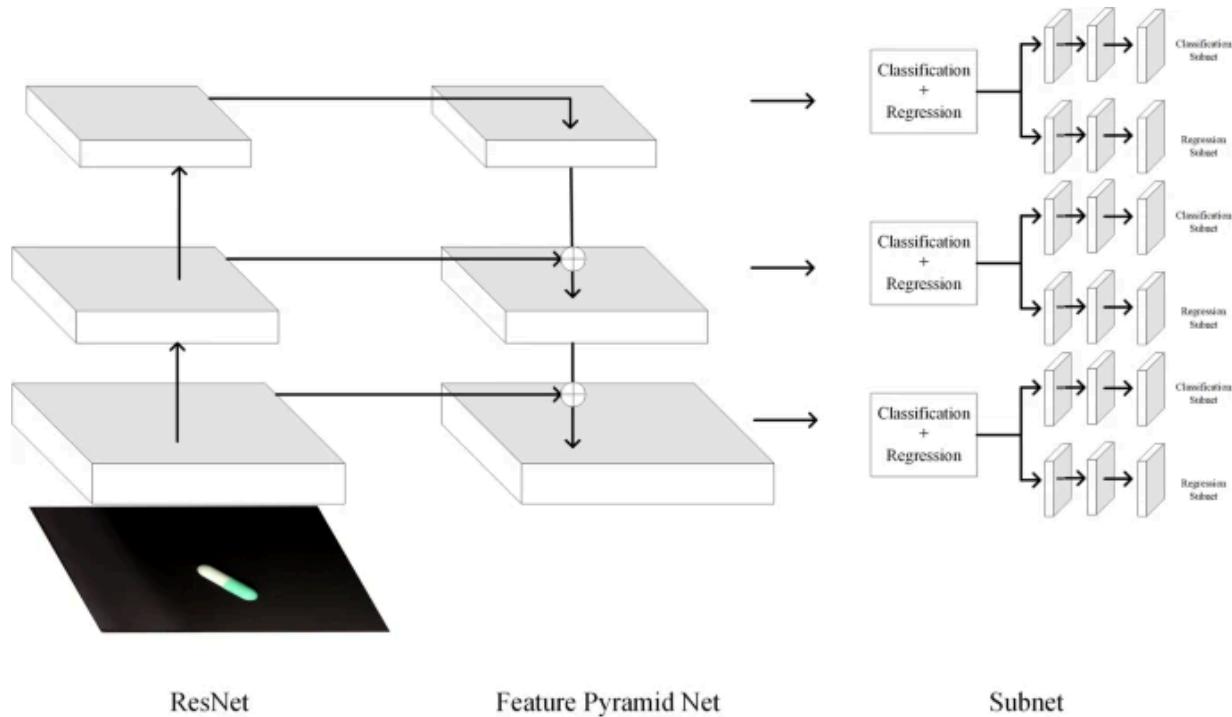


Figura 20 - Arquitectura de RetinaNet

Faster R-CNN adopta un enfoque diferente al utilizar una red neuronal convolucional para generar propuestas de regiones en lugar de depender del algoritmo de búsqueda selectiva. Esto permite que la red genere las propuestas de región y luego lleva a cabo la clasificación y el refinamiento de las detecciones. Aunque ofrece una alta precisión en la detección de objetos, es importante tener en cuenta que puede ser un poco más lento en comparación con otros algoritmos [54].

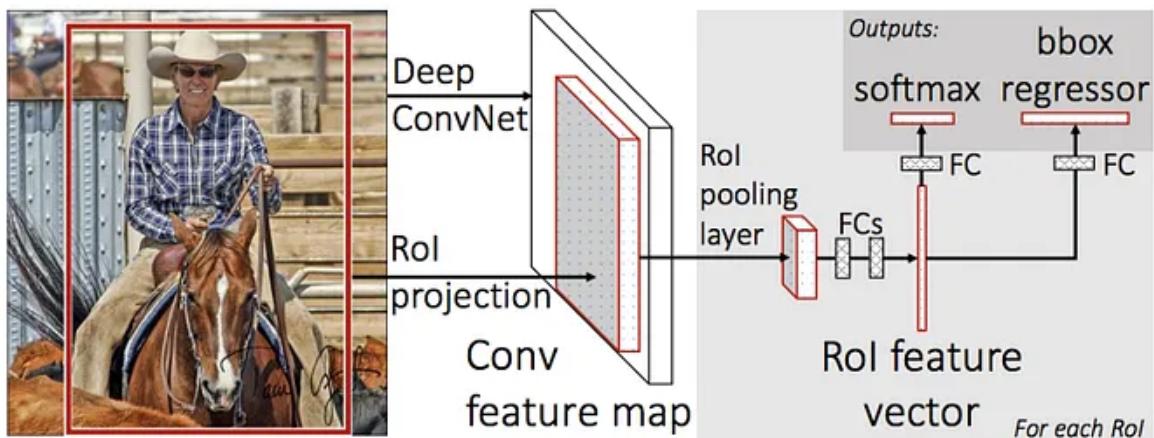


Figura 21 - Arquitectura de Faster R-CNN

Mask R-CNN (Mask Region-based Convolutional Neural Networks) es una extensión de Faster R-CNN que agrega la capacidad de realizar una segmentación precisa a nivel de píxeles. Además de clasificar objetos y generar cuadros delimitadores y etiquetas de clase, Mask R-CNN también produce máscaras que representan la forma exacta de los objetos detectados. Esta extensión incluye una red neuronal totalmente convolucional en la parte superior de las características CNN de Faster R-CNN para generar estas máscaras. Mask R-CNN es especialmente útil en aplicaciones que requieren una segmentación precisa de objetos [55][56].

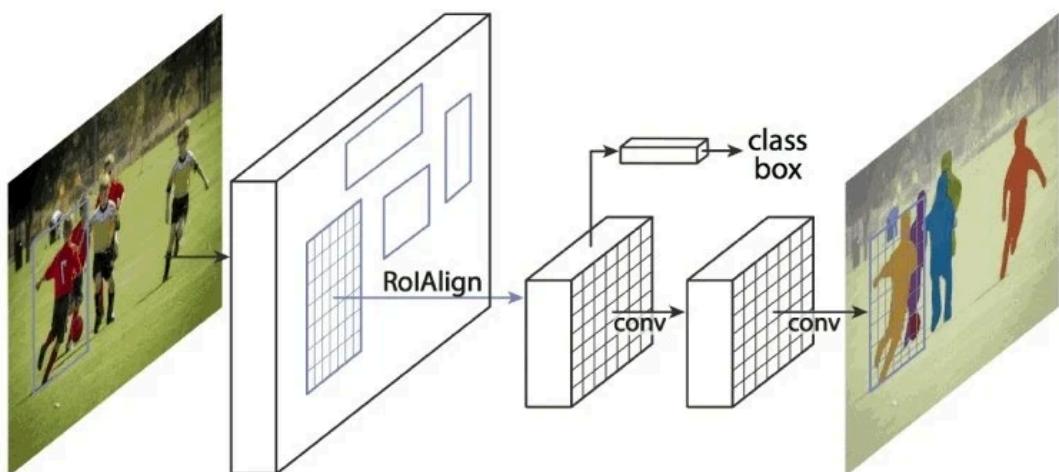


Figura 22 - Arquitectura de Mask R-CNN

9.1.4.3 Comparación entre algoritmos: Validation Loss, Precision, Recall, F1 Score y Tasa de cuadros.

Se llevó a cabo una investigación sobre la performance de distintos algoritmos. Se encontraron datos y comparaciones relevantes a analizar para la selección del algoritmo apropiado para el objetivo del proyecto. Se encontraron dos estudios:

1. Comparación entre YOLOv3, RetinaNet y SSD.
2. Comparación entre Faster R-CNN/Mask R-CNN y YOLOv3.

Comparación entre YOLOv3, RetinaNet y SSD.

En término de tiempo de entrenamiento del algoritmo y su validación correspondiente se encontró que ningún algoritmo llega a sobreajuste dentro de 100 épocas utilizando la base de datos COCO. YOLO presenta un entrenamiento mucho más rápido y eficiente a los datos. [57].

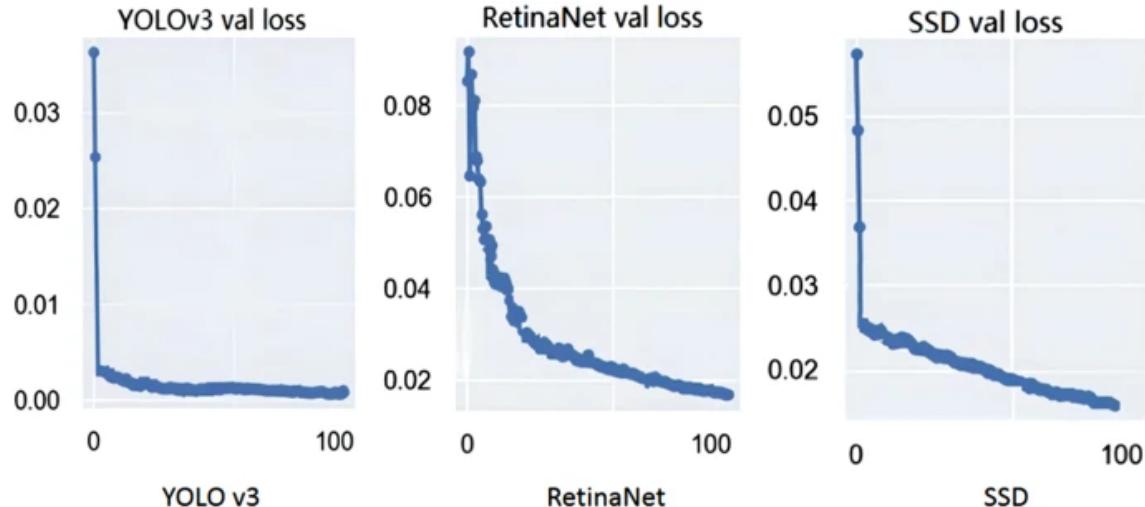


Figura 23 - Entrenamiento de algoritmos.

Luego del entrenamiento, encontramos la etapa de evaluación de la capacidad de generalización de los modelos. En estos estudios se utilizaron las siguientes métricas: precisión, puntuación F1, precisión media promedio (MAP), recall y cuadros por segundo (FPS) [57]. A modo de resumen se explican las métricas mencionadas:

- Precisión: Evalúa cuántos de los ejemplos identificados como positivos son realmente correctos. Cuanto mayor, menos falsos positivos.
- Puntuación F1: Combina precisión y recall en una sola métrica. Es útil para equilibrar precisión y recuperación.
- Precisión Media Promedio (MAP): Evalúa la calidad general de las predicciones. Cuanto mayor, mejor.
- Recall (Recuperación): Mide la capacidad del modelo para encontrar todos los ejemplos relevantes. Cuanto mayor, mejor.
- Cuadros por Segundo (FPS): Indica la velocidad a la que el algoritmo procesa datos. Cuanto mayor, más rápido.

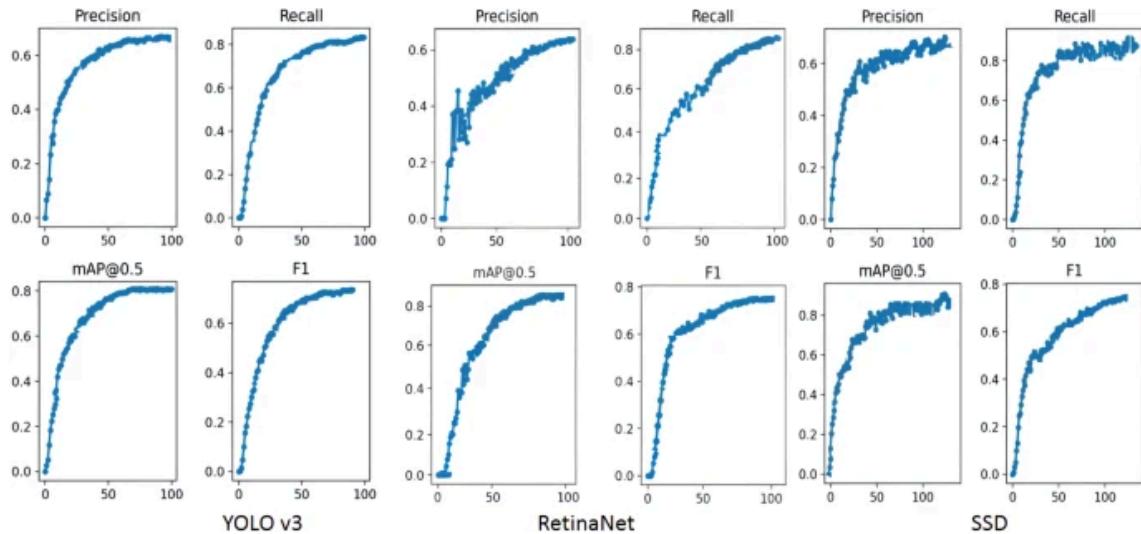


Figura 24 - Métricas de evaluación de los distintos algoritmos

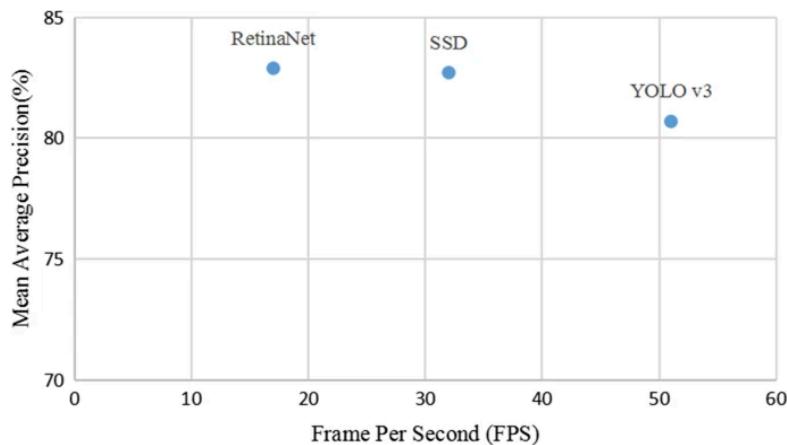


Figura 25 - Tasa de cuadros detectados por cada algoritmo

RetinaNet presenta una mayor MAP en comparación con YOLO v3 y SSD. Sin embargo, YOLO v3 sobresalta en velocidad de detección, alcanzando más de 30 cuadros por segundo (FPS), mientras que RetinaNet no cumplió con los requisitos de tiempo real [57].

Comparación entre Faster R-CNN/Mask R-CNN y YOLOv3.

YOLO es un detector de objetos mientras que Mask R-CNN es un detector y segmentador de objetos. Es decir Mask R-CNN puede delimitar el área del objeto a detectar, y así, brindarnos su contorno. Además, Mask R-CNN es una mejora de Faster R-CNN, con mucha mayor eficiencia [55].

Elección de YOLO como algoritmo a utilizar

La elección del algoritmo YOLO para el desarrollo del dispositivo en este proyecto integrador de grado se basó en sus características superiores en tasa de cuadros, mejor estabilidad en cuanto a métricas y mayor tasa de aprendizaje en sus entrenamientos, en comparación con otros algoritmos de detección en tiempo real.

La limitación más relevante de este algoritmo es que tiene problemas con objetos pequeños en la imagen. Es posible que el algoritmo no pueda detectar objetos muy pequeños en la imagen debido a limitaciones espaciales del algoritmo. Sin embargo, esto no afecta a los

objetivos del proyecto dado que la cámara se posiciona a una distancia lo suficientemente cercana para realizar una detección confiable. Su velocidad y eficiencia al realizar la detección de objetos en una sola pasada lo hace especialmente adecuado para aplicaciones que requieren respuestas rápidas. Su enfoque de una sola pasada simplifica el proceso de detección y clasificación de objetos, eliminando la necesidad de etapas adicionales de procesamiento. Además, YOLO ha demostrado un buen rendimiento en términos de precisión, logrando un equilibrio entre velocidad y precisión en la detección de objetos en imágenes y videos.

Por todas estas razones, YOLO se presentó como la elección óptima para el desarrollo del dispositivo en esta investigación, permitiendo una detección en tiempo real confiable y eficiente de objetos de interés.

9.1.4.3.1 Versión elegida de YOLO y comparación con versiones anteriores

La versión 7 del algoritmo YOLO ha introducido mejoras significativas en términos de velocidad, rendimiento y precisión, con respecto a la previamente analizada versión 3. Se han logrado velocidades de detección de hasta 60 cuadros por segundo en imágenes de alta resolución, lo que permite un procesamiento en tiempo real. Además, se ha mejorado la eficiencia computacional, reduciendo el tiempo de inferencia y optimizando el consumo de recursos [58].

En términos de precisión, el algoritmo YOLO v7 demuestra una alta capacidad de detección y clasificación de objetos, con una tasa de acierto superior al 90%. Esto se ha logrado mediante el uso de redes neuronales convolucionales y técnicas de aprendizaje profundo que han sido refinadas y optimizadas en esta versión. Además, se ha mejorado la capacidad de detectar objetos en escenarios desafiantes, incluyendo fondos complejos y objetos superpuestos [58].

Estas mejoras en velocidad, rendimiento y precisión hacen que el algoritmo YOLO v7 sea una herramienta práctica y versátil para diversas aplicaciones, capaz de brindar resultados precisos para sistemas que requieran una detección eficiente y confiable de objetos.

9.1.4.3.2 Características de cámaras para compatibilidad con YOLO v7

Una cámara compatible con el algoritmo YOLO de detección de objetos en tiempo real debe contar con ciertas características clave [58].

En primer lugar, se requiere una resolución de video adecuada, preferiblemente de 720p o superior, para obtener resultados precisos. Además, la cámara debe ser capaz de grabar video a una velocidad de cuadros por segundo (FPS) lo suficientemente alta, con una recomendación de al menos 30 FPS para garantizar una detección fluida. La conectividad también es importante, pudiendo ser una cámara USB, IP o integrada en un dispositivo móvil. Por último, la calidad de imagen es crucial, incluyendo una reproducción de color precisa y una buena sensibilidad a la luz en diversas condiciones. Estas características aseguran que la cámara proporciona imágenes de calidad y un rendimiento óptimo para la detección de objetos en tiempo real con el algoritmo YOLO [58].

Fue necesario utilizar un soporte para la webcam, específicamente un trípode, con una altura aproximada de 1,70 metros. Este soporte permite posicionar la cámara de manera estable y ajustable a la altura adecuada para capturar imágenes de manera óptima.

MiniPC

Para lograr una detección en tiempo real a una velocidad de 2 a 3 fps con el algoritmo YOLO-v7 en su versión "tiny", se requiere una mini PC con las siguientes características:

- Procesador: Intel Core i3 de décima generación para un rendimiento adecuado.

- Memoria RAM: Se recomienda al menos 8 GB de RAM para un procesamiento eficiente.
- Almacenamiento: Un disco de estado sólido (SSD) con capacidad de almacenamiento de al menos 256 GB para un acceso rápido a los datos necesarios durante la detección.
- Tarjeta gráfica: Aunque el algoritmo YOLO puede funcionar sin una tarjeta gráfica dedicada, si se desea un rendimiento mejorado (mayor velocidad de detección), se puede considerar una tarjeta gráfica compatible con CUDA.

9.1.5 Comunicación Inalámbrica

La comunicación inalámbrica por radiofrecuencia se basa en la transmisión y recepción de señales electromagnéticas en diferentes rangos de frecuencia. Los módulos Bluetooth HC-05 y HM-10 operan en la banda de 2.4 GHz, ofreciendo una conexión estable y de corto alcance. El módulo ESP32 también utiliza la frecuencia de 2.4 GHz y proporciona un mayor rango de alcance. Por otro lado, el módulo LoRa utiliza frecuencias más bajas, como 433 MHz, 868 MHz o 915 MHz, lo que le permite alcanzar distancias más largas y consumir menos energía. Cada uno de estos módulos tiene sus propias características y limitaciones, pero todos permiten establecer comunicaciones inalámbricas efectivas en diferentes aplicaciones. Es fundamental tener en cuenta las regulaciones locales y los requisitos específicos de cada módulo al utilizar la comunicación inalámbrica por radiofrecuencia [59].

9.1.5.1 Bluetooth

Bluetooth es un estándar desarrollado para la comunicación inalámbrica de datos de corto alcance [60]. Entre sus principales características, pueden nombrarse su robustez, baja complejidad, bajo consumo y bajo costo.

La tecnología bluetooth es de pequeña escala y bajo costo. Tiene la capacidad de atravesar paredes y maletines, por lo cual es ideal tanto para el trabajo móvil, como el trabajo en oficinas [60].

9.1.5.1.1 HC-05

Permite realizar un enlace inalámbrico entre microcontroladores mediante bluetooth 2.0. La transmisión se realiza en forma transparente, por lo que se conecta en forma directa a los pines seriales del microcontrolador (respetando los niveles de tensión, ya que el módulo se alimenta con 3.3V). Todos los parámetros del módulo se configuran con comandos AT. Se puede configurar como Master o Slave [61].



Figura N° 26: Módulo HC-05

9.1.5.1.2 HM-10

Permite conectar proyectos programados con arduino a un smartphone, celular o PC de forma inalámbrica con bluetooth, con la facilidad de operación de un puerto serial. Cumple con el estándar Bluetooth Low Energy (BLE), teniendo bluetooth 4.0. Su conexión de forma remota también es con una comunicación serial transparente por lo que no es necesario

programar el microcontrolador, solo enviar y recibir información por sus pines TX Y RX, respectivamente. Funcionamiento configurable mediante comandos AT [62].

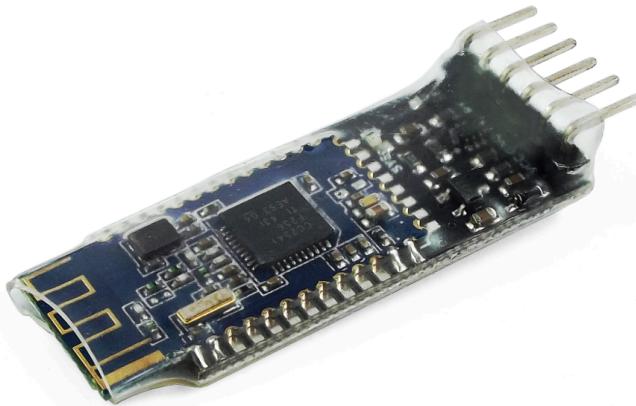


Figura N° 27: Módulo HM-10

9.1.5.2 Lora

El significado de LoRa (Long Range) hace referencia al internet de las cosas (IoT) de largo alcance ya que permite la conectividad inalámbrica eficiente en el campo de las áreas extensas y con bajo consumo [63].

LoRa es una técnica de modulación de espectro ensanchado que se utiliza para crear enlaces de comunicación de largo alcance manteniendo un uso de baja potencia que son características usadas similarmente a las de la modulación por desplazamiento de frecuencia. Esta clase de modulación empleada se deriva de una tecnología de chirp de espectro ensanchado o amplio espectro la cual fue patentada por Semtech y actualmente es administrada por la “LoRa Alliance” una organización integrada por IBM, Cisco y Alibaba para la colaboración en el desarrollo de esta tecnología [64].

Las características principales que posee LoRa son [64]:

- Alta resistencia a interferencias,
- Alta sensibilidad (-168 dB), basada en modulación Chirp,
- Bajo consumo de energía, pueden consumir muy poca energía que puede durar hasta 10 años con batería,
- Largo alcance entre 10 a 20 km conexiones entre nodos sensores,
- Bajos datos transferencia (hasta 255 bytes),
- Conexión punto a punto
- Seguridad con cifrado de datos AES-128 extremo a extremo integrado, el cual hace que interceptar la información sea prácticamente imposible.
- Tecnológica escalable ya que permite la conexión de miles de sensores con miles de nodos.

LoRa está diseñado para manejar una velocidad de datos variables, permitiendo tolerar factores de dispersión ortogonales. Esto permite al sistema poder controlar la velocidad de datos por el rango o potencia, permitiendo buscar la configuración óptima que se adapte al rendimiento de la red en un ancho de banda constante. Los anchos de bandas ISM compatibles para LoRa son:

- 915 MHz en América

- 868 MHz en Europa
- 433 MHz en Asia

9.1.5.3 Módulo RF 433

Son dos módulos de radiofrecuencia, un transmisor y un receptor. Permiten realizar una conexión inalámbrica simple, en la que el envío de información es en un solo sentido entre los dos microcontroladores. La frecuencia de trabajo es de 433 MHz, debido a que es una banda de libre uso [65].

La conexión de pines es sencilla, solo alimentación y pines TX-RX. Para la programación no es necesario agregar ningún tipo de librería, ya que es un proceso "transparente", por lo que el programa sería igual a usar una comunicación serial (UART) entre 2 MCUs, sin embargo existen algunas librerías que ofrecen ciertas ventajas como: verificación de errores, redundancia, etc. [65].

La antena tiene una gran influencia en el módulo receptor, por lo que se recomienda conectar un cable de cobre de unos 17cm de largo para alcanzar la frecuencia de 433MHz. La posición de la antena también afecta la recepción de datos. El cable de la antena debe estar debidamente aislado [65].

El módulo TX opera con un voltaje de 3.5V a 12V y transmite datos mediante modulación ASK/OOK, mientras que el módulo RX opera con un voltaje de 5V y presenta una sensibilidad del receptor de -105dB. Se recomienda utilizar antenas de cobre y seguir las indicaciones de conexión para obtener un rendimiento óptimo [66].



Ilustración N° 28: Módulo RF 433

9.1.5.4 WiFi

9.1.5.4.1 ESP32-WROOM

Esta placa presenta una solución altamente integrada que combina el chip ESP32 y sus componentes asociados en un diseño compacto. Ofrece conectividad WiFi y bluetooth de doble modo, lo que permite la comunicación inalámbrica con otros dispositivos. Ampliamente utilizado en proyectos de IoT y desarrollo de aplicaciones, la placa ESP32 WROOM destaca por su facilidad de uso y versatilidad [43].

El ESP32-WROOM se basa en un microcontrolador Tensilica de 32 bits con una frecuencia de reloj de 240 MHz. Cuenta con una memoria Flash de 4 MB y 500 KB de SRAM, lo

que proporciona amplio espacio para almacenar programas y datos. Este módulo tiene conectividad inalámbrica WiFi estándar 802.11 b/g/n y bluetooth integrado de baja energía (BLE), lo que brinda flexibilidad en la conexión con otros dispositivos [43].

Además de su potencia de procesamiento y conectividad, el ESP32-WROOM está diseñado para un bajo consumo de energía, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren eficiencia energética. También incluye una amplia gama de periféricos integrados, como sensores táctiles capacitivos, sensor de efecto Hall, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C, lo que amplía sus capacidades de interfaz con otros componentes [43].

9.1.6 Aviso

Para el aviso al nadador se investigaron dos tipos de tecnologías: sonido y vibración. Ambas fueron utilizadas en el diseño de prototipos para ver su funcionamiento y eficiencia bajo el agua.

9.1.6.1 Sonido

Para sonido se encontraron dos opciones. Un módulo buzzer para emitir sonido en espacio abierto y auriculares sumergibles para un sonido más localizado.

9.1.6.1.1 Módulo buzzer

El módulo buzzer activo KY-012 produce sonido a un determinado tono cuando la señal es un alto digital (5V). Consta de un zumbador piezoelectrónico activo que genera un sonido de aproximadamente 2,5 kHz. Este buzzer se utiliza comúnmente para generar alarmas sonoras en tarjetas electrónicas, computadoras, multímetros, etc. [67].



Figura N° 28: Módulo buzzer activo KY-012

9.1.6.1.2 Auriculares

Se investigó sobre auriculares bluetooth a prueba de agua con tecnología impermeable de clase IPX8. La resistencia al agua de alto nivel ofrecida por estos auriculares inalámbricos hace que sean adecuados para deportes como natación. El revestimiento interior impermeable hace que éstos auriculares puedan sumergirse en agua a 1,5 metros de profundidad durante 50 minutos sin afectar el rendimiento [68].

Los auriculares poseen baterías de polímero de litio. Se pueden encontrar algunas de 160 mAh incorporadas, lo que otorga 8 horas de autonomía. Los fabricantes aclaran que como el agua interfiere con la conexión, el bluetooth no funciona bajo el agua y recomiendan que se emplee el modo MP3 en caso de nadar o para cualquier otra actividad bajo el agua [68].



Figura N° 30: Auriculares resistentes al agua

9.1.6.2 Vibración

9.1.6.2.1 Módulo motor vibrador

Este es un pequeño motor vibración adecuado como un indicador no audible, la frecuencia de vibración puede ser modulada por PWM. Cuando la entrada es alta, el motor vibra, al igual que un teléfono celular estando en modo vibración/silencioso [69].

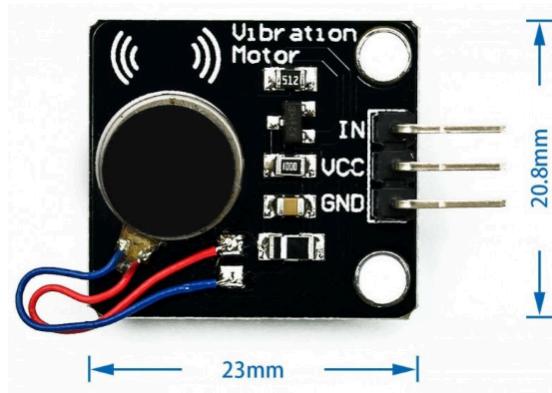


Figura N° 31: Módulo motor vibrador

9.1.6.2.2 Motor de vibración háptico

“Háptica” es un término que hace referencia a todo aquello que se relaciona con el tacto. El motor de vibración háptica tiene como objetivo tecnológico, por tanto, trasladar sensaciones realistas a través del tacto. Fue desarrollado por Apple para sus dispositivos móviles. En este sentido, el motor se encarga de regular las vibraciones del dispositivo, respondiendo según la respuesta táctil que recibe [70].

Se investigó e intentó implementar en el proyecto este tipo de tecnología pero debido a sus conexiones nanométricas no fue posible realizar soldaduras. Además tampoco se pudieron abrir estos motores porque implicaba destruir la carcasa e inhabilitar su uso posterior. La idea era utilizarlo para transmitir sonidos de aviso por vía ósea al oído.



Figura N° 32: Motor de vibración háptico

10 Ensayos

10.1 Detección

10.1.1 Sensores de ultrasonido

10.1.1.1 JSN SR04t - prueba en aire

Para encontrar las distancias límites de las mediciones en aire se realizaron dos pruebas. Con el sensor apuntando al vacío, el máximo valor obtenido fue de 780 cm. Con el sensor a menos de 20 cm de distancia de una superficie, los valores obtenidos ya no se corresponden con los reales.

Para poder entender en profundidad el funcionamiento de la placa se estudiaron las señales emitidas y recibidas, analizándolas con ayuda de un osciloscopio. Ésto fue necesario debido a que el datasheet del sensor no posee especificaciones técnicas acordes a lo buscado. Las mediciones se realizaron en los pines que transportan la señal emitida y recibida al transductor.

Conocimientos preliminares:

Las mediciones realizadas directamente desde los pines del módulo dan altos o bajos digitales (5V o 0V respectivamente). Se analizaron los componentes de la placa para poder estudiar la onda ultrasónica. Dentro de la composición se identificaron los pines correspondientes a los "datos en crudo" emitidos y receptados por la punta del TDx. Luego se observó un potenciómetro que regula la amplificación de la señal luego de ser receptada. Se decidió estudiar esta señal amplificada para una mejor visualización.

Se busca:

- Estudiar el comportamiento de la señal analógica recibida a diferentes distancias en aire,
- Obtener valores para realizar una comparación del comportamiento en agua.

En todas las imágenes captadas con el osciloscopio se observa la emisión de los primeros 8 impulsos de 40kHz emitidos por la placa, luego la primera onda receptada y finalmente una señal remanente que llega al sensor.



Figura N° 33: Onda de ultrasonido con obstáculo a 30cm

En esta imagen el obstáculo está a 30 cm de la punta emisora. La medición de tiempo desde que se emite hasta que se recibe el primer eco es de 1,67ms, con dos zonas diferenciables:

- La de mayor estabilidad con duración de 280 useg y una segunda de 200 useg.
- Luego se recibe un segundo eco remanente de los impulsos enviados, se presupone indiferente para el objetivo del análisis suponiendo que no es captado por la electrónica del módulo. En éste sentido se entiende que dicha onda es filtrada y descartada por poseer una tensión analógica muy baja para poder ser clasificada como un alto digital.

En la placa de arduino se toma como alto solo la primera onda.

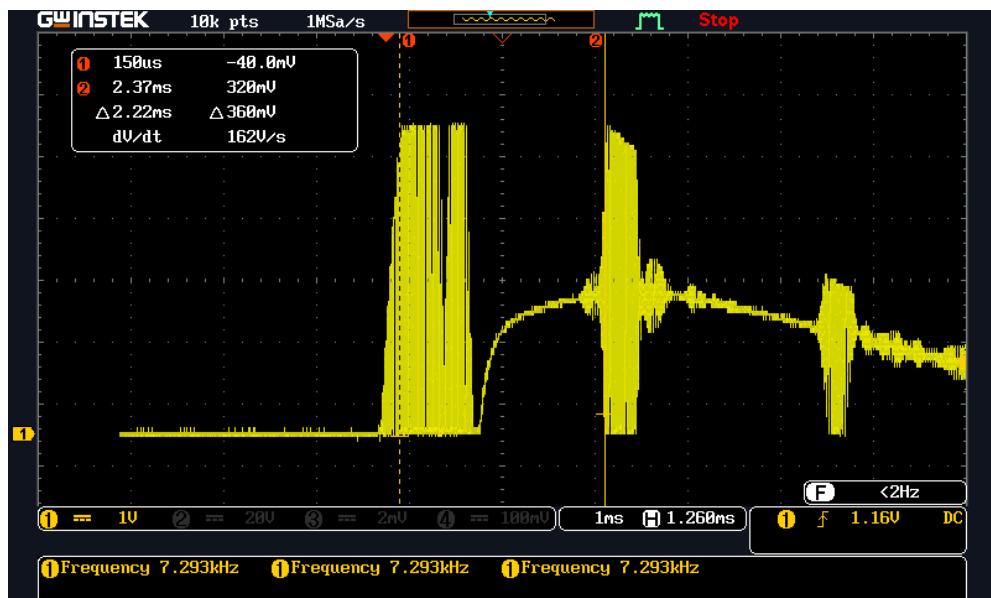


Figura N° 34: Onda de ultrasonido con obstáculo a 40cm

Con el obstáculo a 40 cm el tiempo medido para la recepción del primer eco fue de 2,22 ms (hasta el primer pico más alto), con una duración de la zona más estable de 230 useg, y la segunda zona de 400 useg. En la placa arduino se toma como alto la onda correspondiente al primer eco.

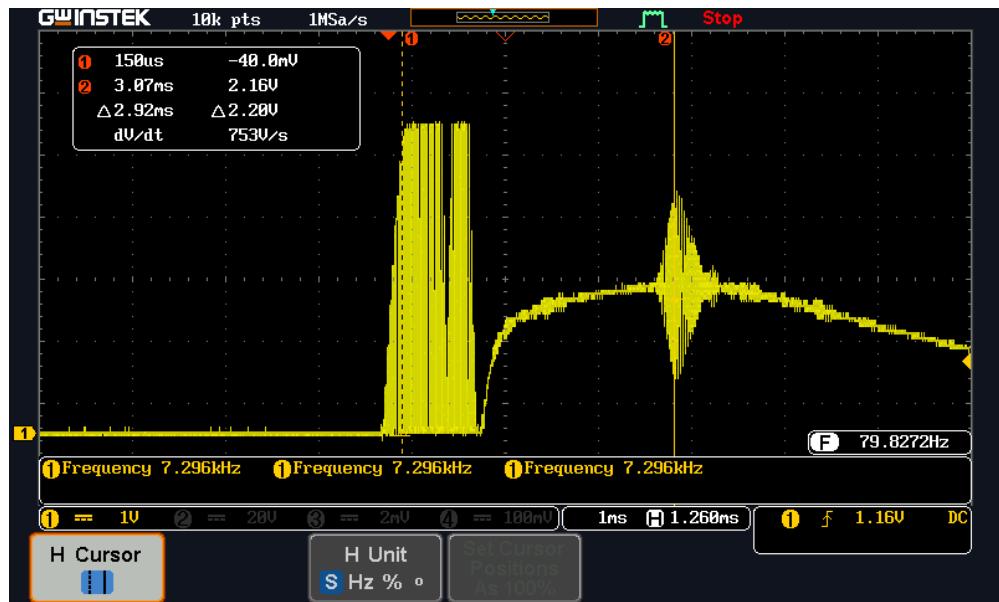


Figura N° 35 Onda de ultrasonido con obstáculo a 50 cm

Con el obstáculo a 50 cm se obtuvo un tiempo de recepción del primer eco de 2.92 ms. Se empieza a notar un patrón de disminución de la zona estable siendo en esta imagen indistinguible. Se puede decir que se comporta como una senoidal amortiguada con duración de 800 useg. En la placa de arduino se toma como alto esta onda.

Luego se tomó una onda orientada al vacío, no recibiendo un eco visible en la escala del osciloscopio. Ésto ocurrió para todos los objetos ubicados a una distancia mayor a 150 cm.

10.1.1.2 JSN SR04t - prueba en agua

Se realizaron pruebas sumergiendo el sensor en un tanque con agua, con resultados no óptimos. Se apuntó el sensor hacia la base del tanque, conociendo su profundidad. El resultado fueron valores mucho más grandes que la profundidad conocida. Las ondas tenían un retraso en su camino que provocaba esta variación. Como promedio daba un valor de 170 cm.

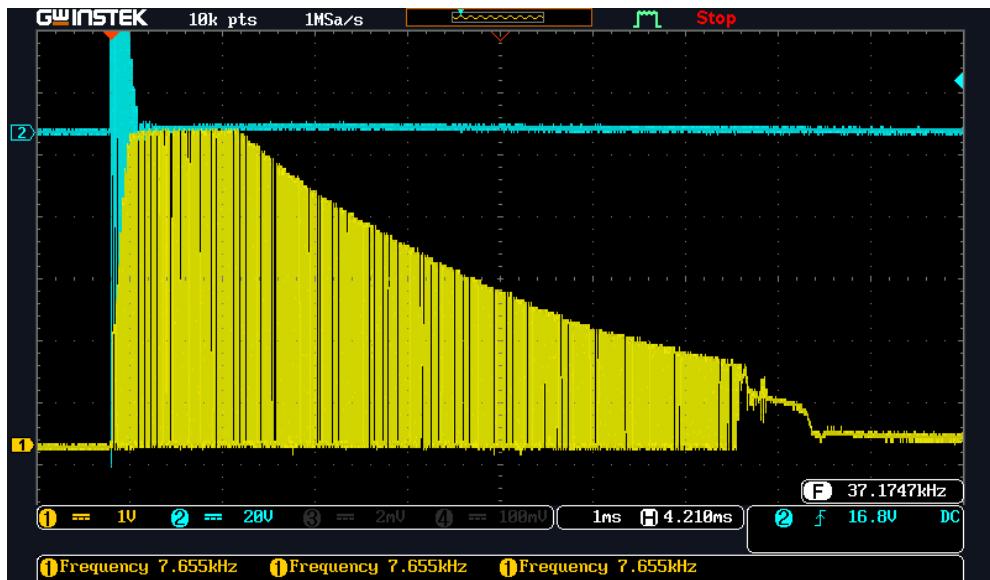


Figura N° 36: Resonancia de las señales

Durante la prueba del sensor sumergido se observó un efecto de resonancia de las señales captadas. En la imagen superior se observa en azul la tensión aplicada al piezoelectrónico para excitarlo. Seguidamente en amarillo se observa el envío de los 8 impulsos correspondientes a la emisión de la señal, los cuales no pueden ser diferenciados de las señales de los ecos en resonancia que vuelven al sensor.

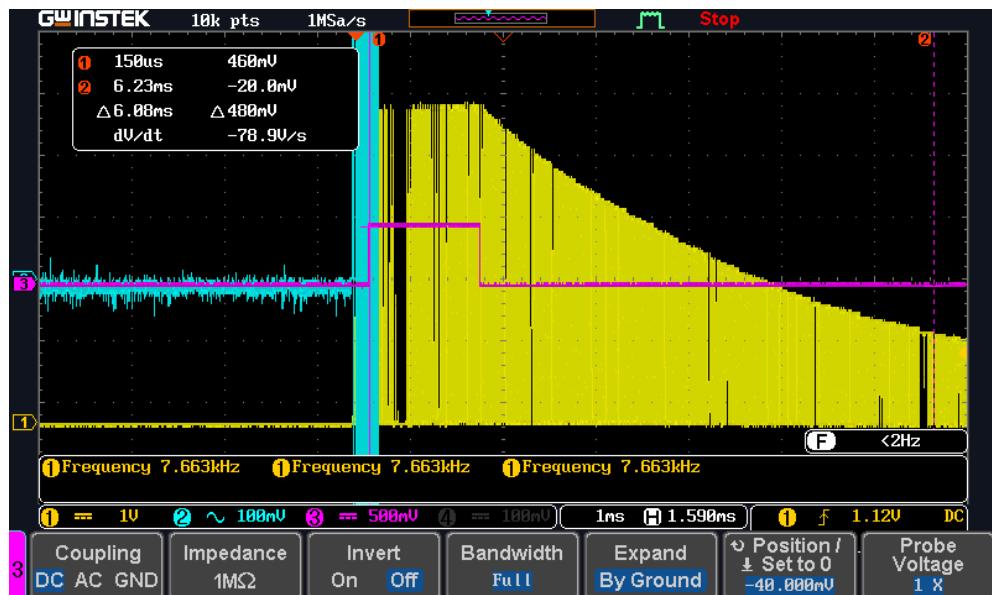


Figura N° 37: Onda de excitación de cristales piezoelectricos

En esta imagen se contrasta en color rosa la onda correspondiente a la excitación de los cristales piezoelectricos. Desde fábrica el dispositivo mantiene dicho tiempo evitando que se recepcionen ondas de ecos, lo cual se corresponde con la distancia mínima (20 cm) necesaria para que el sensor comience a reconocer obstáculos en la trayectoria del ultrasonido.

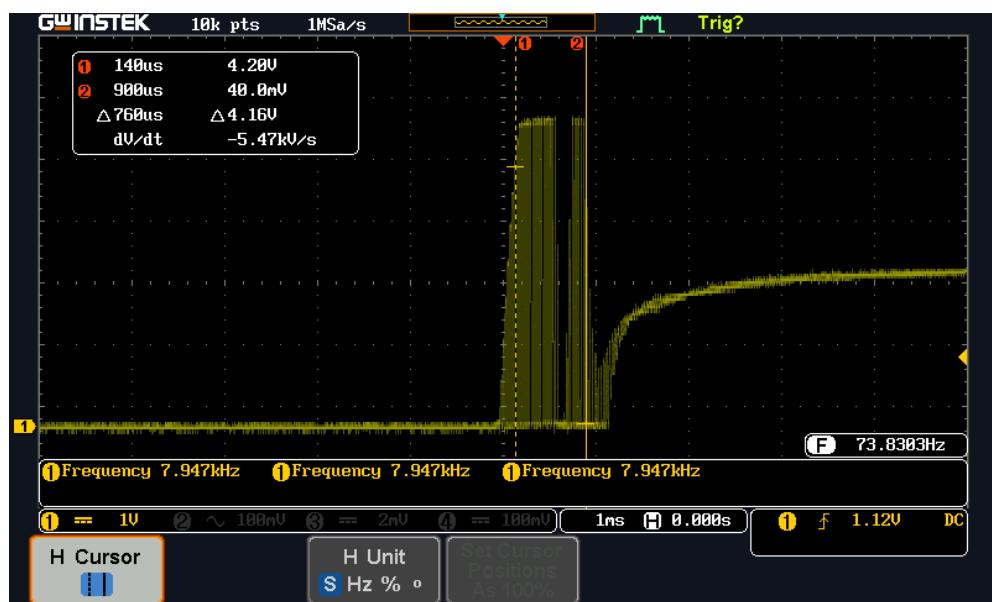


Figura N° 38: Onda de ultrasonido con recorte de goma eva sobre el sensor

Durante la búsqueda de soluciones para esta resonancia se encontró una investigación donde resolvían la misma colocando un recorte de goma eva sobre la cara del sensor.

Fue posible comprobar que dicho elemento elimina la resonancia de los ecos. Ésto se visualiza en la imagen superior donde la onda amarilla se asemeja nuevamente a la que observábamos en el aire.

10.1.1.3 JSN SR04t - interfaz aire-agua

Para su uso en la pileta, se buscaba posicionar el sensor en la pared donde llega el nadador, por arriba del nivel del agua. El problema presentado es que el agua está en movimiento ante el paso de los nadadores y se producen olas en las paredes de la pileta.

Se realizó una simulación de pileta para ver el funcionamiento de este sensor con una interfaz de aire a agua en el sentido de transmisión de las ondas ultrasónicas. En la prueba, los resultados mientras el agua estaba estática fueron buenos. Se simularon olas grandes golpeando el sensor y las mismas provocaron el envío de valores erróneos aislados.

Posibles soluciones:

Para solucionar este problema del “oleaje”, se pensó modificar el código agregando condiciones. Este arreglo por software debería tener en cuenta que solo va a mandar la señal al usuario cuando ocurra alguna de las siguientes situaciones:

- Que emita la señal al sensar 6 o 7 valores por debajo de 230 cm consecutivos
- Que emita la señal cuando el promedio de 6 o 7 valores consecutivos esté por debajo de un cierto rango predefinido.

10.1.2 Cámara

10.1.2.1 Selección de modelo

Para los requerimientos del algoritmo se requiere una cámara RGB que permita la obtención de video en una resolución mínima de 640x480. Se adquirió una cámara logitech C279 con una resolución de 720p (1280x720 píxeles, permitiendo cambiar la resolución a preferencia del usuario). Código en ANEXO F.

10.1.2.2 . Algoritmo YOLOv 7 - Base de datos y entrenamiento

Para lograr un accuracy aceptable en la detección de un objeto, YOLOv 7 requiere de una base de datos aproximadamente de 1000 a 1500 imágenes junto a sus archivos txt de etiquetado (aquí encontramos los vectores de datos de los objetos etiquetados en la imagen en formato YOLOv 7).

La base de datos para este proyecto consistió en aproximadamente 3000 imágenes con las etiquetas: Nadador, Pared y Andarivel. Todo el armado de la base de datos y entrenamiento del algoritmo se encuentra detallado en el Anexo F.

10.1.2.3 Accuracy alcanzado sobre los datos de entrenamiento y testeo

Cabe recordar que al entrenar un algoritmo de inteligencia artificial, tanto en Machine Learning como en Deep Learning, la base de datos debe dividirse en datos de entrenamiento-validación (70%) y testeo (30%). Dentro de los datos de entrenamiento-validación se vuelve a repartir los datos en 80/20 (ó 70/30), respectivamente, dependiendo del usuario.



Figura N° 39: Clasificación de datos de entrenamiento

En este trabajo se lo dividió de la siguiente manera:

- entrenamiento-validación (70%):
 - Entrenamiento (80% de los datos entrenamiento-validación): Son utilizados para entrenar el algoritmo. De ellos se extrae el error de entrenamiento para ajuste de pesos sinápticos.
 - Validación (20% de los datos entrenamiento-validación): De ellos se extrae el error de validación. Necesario para detener el ajuste de pesos sinápticos ante caso de overfitting. Se detecta el overfitting mediante la comparación con el error de entrenamiento.
- testeo (30%): Es utilizado para poder extraer métricas que indiquen la eficiencia del modelo ante datos nunca antes analizados por el algoritmo.

Una vez iniciado el entrenamiento se establecen hiper parámetros iniciales para el predictor, ocurre la primera predicción con los datos de entrenamiento y los datos de validación, se lo compara con sus etiquetas y se ve el error asociado. Este error sobre los datos de entrenamiento se utiliza para hacer ajustes en los pesos sinápticos de la red neuronal, proceso conocido como back propagation. Una vez realizado el ajuste de los pesos sinápticos se ha terminado una “época”. Luego se vuelve a repetir el proceso durante las épocas que se le indique al algoritmo.

Al finalizar el entrenamiento se debe establecer cuales son los mejores pesos sinápticos para que la red neuronal generalice sus predicciones y no tenga poca precisión ni sobreajuste a los datos de entrenamiento. Esto último se lo determina comparando los errores sobre los datos de entrenamiento y validación, cuando el error de validación empieza a crecer y el error de entrenamiento es cercano a 0 se está sobre ajustando el modelo. En ese punto se tienen los pesos sinápticos óptimos para la red neuronal. Esta comparación se realiza en cada época obteniendo una complejidad óptima para el modelo.

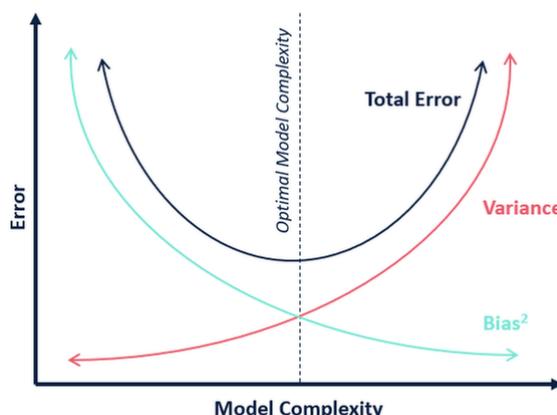


Figura N° 40: Complejidad del modelo

En la evaluación de eficiencia se utilizan los datos de testeo para evaluar como predice el modelo. Se compara con los valores verdaderos obteniendo métricas sobre su funcionamiento.

Para el entrenamiento se utilizó una computadora con tarjeta gráfica Nvidia Geforce Rtx 3060. El algoritmo se entrena durante 100 épocas con hiperparametros iniciales establecidos por la versión de YOLOv 7. Luego se procedió al análisis de eficiencia del modelo ya entrenado basándonos en las predicciones realizadas por el modelo sobre los datos de testeo, logrando cuantificar las métricas del modelo. Se obtuvieron los siguientes resultados:

class_id = 0, name = nadador, ap = 89.72% (TP = 215, FP = 34)

class_id = 1, name = andarivel, ap = 98.46% (TP = 535, FP = 21)

class_id = 2, name = pared, ap = 98.58% (TP = 264, FP = 21)

for conf_thresh = 0.50, precision = 0.93, recall = 0.96, F1-score = 0.95

for conf_thresh = 0.50, TP = 1014, FP = 76, FN = 37, average IoU = 74.58 %

IoU threshold = 50 %, used Area-Under-Curve for each unique Recall

mean average precision (mAP@0.50) = 0.955840, or 95.58 %

Para la clase "nadador", se obtuvo una precisión del 89.72%, lo que significa que el modelo identificó correctamente el 89.72% de las instancias de nadador en relación con las instancias totales clasificadas bajo ese nombre. Asimismo, el modelo tuvo un 98.46% de precisión para la clase "andarivel" y un 98.58% de precisión para la clase "pared". Estos resultados indican que el modelo tuvo un alto rendimiento en la detección y clasificación de estas clases específicas.

Al establecer un umbral de confianza de 0.50, se obtuvo una precisión general del 93%, lo que significa que el modelo identificó correctamente el 93% de las instancias clasificadas en general en relación con las instancias totales clasificadas. Además, se logró un recall del 96%, lo que indica que el modelo recuperó correctamente el 96% de las instancias reales en relación con todas las instancias reales presentes. El puntaje F1 de 0.95 representa una combinación equilibrada de precisión y recall.

Al ajustar el umbral de confianza a 0.50, se obtuvieron 1014 verdaderos positivos (TP) y 76 falsos positivos (FP). Además, hubo 37 falsos negativos (FN). Se calculó un promedio de IoU (Umbral de intersección sobre unión) del 74.58% para estas instancias detectadas. Esto muestra que el modelo logró una buena superposición entre las detecciones y las instancias reales.

Finalmente, se calculó el promedio de precisión media (mAP@0.50) utilizando un umbral de IoU del 50%. El resultado obtenido fue de 0.955840, lo que representa un 95.58% de precisión media. Esto indica que el modelo tuvo un alto desempeño en la detección y clasificación de objetos en general, considerando una superposición mínima del 50%.

Estos resultados demuestran la efectividad del modelo en la detección y clasificación de las clases evaluadas y respaldan la precisión y el rendimiento general del mismo.

10.1.2.4 Modificaciones en el código

Se modificó el código de detección para poder realizar un cálculo de distancias sobre la imagen con sus detecciones asociadas a ella. El código modificado se encuentra detallado en el Anexo F. Su funcionamiento es el siguiente:

Se extraen las coordenadas en el “eje y” de las detecciones correspondientes con “nadador” y “pared” para un cálculo de distancia en píxeles sobre los frames obtenidos en cada imagen procesada. Se establece un umbral calibrable para poder diferenciar cuando el nadador se encuentra cerca y lejos de la pared. Al superar dicho umbral se ejecuta el envío de un carácter “A” a la placa ESP32 programada en Arduino por comunicación serial. Mientras no se detectan simultáneamente “nadador” y “pared”, y el cálculo no supere dicho umbral se envía el carácter “B”.

10.2 Comunicación inalámbrica

10.2.1 Atenuación de ondas

Las ondas electromagnéticas experimentan una atenuación muy elevada en el agua, del orden de 1dB/m para una frecuencia de 30kHz, mientras que una onda acústica a esa misma frecuencia, presenta una atenuación del orden de 1dB/km [71].

10.2.2 Bluetooth

Las redes bluetooth son utilizadas con un modelo maestro/esclavo para controlar cuándo y cómo los dispositivos pueden enviar información. Un único dispositivo maestro se puede conectar con diferentes dispositivos esclavos, variando la cantidad según las especificaciones del módulo. Mientras que cada dispositivo esclavo en la configuración se puede conectar a un único maestro.

En este proyecto, el dispositivo maestro sería aquel ubicado junto al sensor de ultrasonido para alertar ante el sensado de presencia del nadador. El “esclavo” se ubica en la gorra del nadador para recibir la señal y dar inicio a las vibraciones de alerta.

10.2.2.1 Conexión bluetooth

Para la conexión, primero uno de los dispositivos debe iniciar una “solicitud de consulta” de módulos cercanos, intentando descubrir al otro. Cualquier dispositivo que logre ver dicha solicitud responderá con su dirección, y posiblemente con su nombre y otra información. Seguidamente se inicia el proceso para formar la conexión entre los dos dispositivos. Previamente ambos deben conocer la dirección del otro. Una vez terminado, se ingresa al estado de conexión, donde un dispositivo puede participar activamente o ponerse en modo suspensión de bajo consumo.

10.2.2.2 Protocolo TLS Handshake

Este es un protocolo de seguridad que sirve para que dos servidores se verifiquen entre sí y puedan establecer un tráfico cifrado e intercambiar claves. Proporciona cifrado, autenticación e integridad de la información entre ambos extremos de la conexión. En particular el protocolo handshake TLS permite que emisor y receptor negocien la versión del protocolo TLS a utilizar, elijan el algoritmo de cifrado y se autentican mutuamente garantizando la integridad de ambos. Si todo va bien y se verifican correctamente se realiza el intercambio de datos.

La desventaja de esta negociación es que son necesarios varios mensajes en cada sentido de la comunicación y esto agrega mayor latencia a las conexiones TLS. Esta latencia se traduce en lentitud en la detección de los nadadores así como en el aviso de alerta [72].

10.2.2.3 Alcance

Se probaron los dispositivos bluetooth HC05 por fuera del agua logrando alcanzar una distancia de conexión de aproximadamente 20 metros. Bajo agua, a una profundidad de 10 cm, esta distancia se veía disminuida hasta solo 4 metros, y continuaba disminuyendo con la profundidad.

10.2.3 Wifi

Las redes inalámbricas de área local (WLAN) están diseñadas para proporcionar acceso inalámbrico en zonas con un rango típico de hasta 100 metros y se utilizan sobre todo en el hogar, la escuela, una sala de ordenadores, o entornos de oficina. Esto proporciona a los usuarios la capacidad de moverse dentro de un área de cobertura local y permanecer conectado a la red. Las WLAN se basan en el estándar 802.11 del IEEE y son comercializadas bajo la marca Wi-Fi.

Estas redes suelen operar sobre un espectro sin licencia y reservado para uso industrial, científica y médica (banda ISM). Las frecuencias disponibles difieren de país a país. Las bandas de frecuencia más comunes son la de 2,4 GHz y la de 5 GHz, que están disponibles en la mayor parte del mundo. La disponibilidad de estas bandas de frecuencias permite a los usuarios operar con redes inalámbricas sin necesidad de obtener una licencia, y además sin cargo alguno. Al no requerir una licencia para su uso, ello ha facilitado la expansión de este tipo de redes.

La velocidad de transferencia máxima para el enlace inalámbrico IEEE 802.11g es de 54 Mbps, pero se ve reducida automáticamente cuando la señal de radio es débil o cuando se detecta una interferencia [57].

10.2.3.1 Protocolo ESP-Now

Es un protocolo de comunicación entre varios dispositivos creado por Espressif, el cual es similar al utilizado en los dispositivos de baja energía que funcionan en la banda de 2.4Ghz. Su funcionamiento requiere de emparejamiento de los dispositivos, pero una vez hecha la conexión será automática.

ESP32 soporta las siguientes características:

- Comunicación única encriptada y sin encriptar.
- Se pueden mezclar clientes con encriptación y sin encriptación.
- Permite enviar hasta 250-bytes de carga útil.
- Se pueden configurar callbacks para informar a la aplicación si la transmisión fue correcta
- Largo alcance, pudiendo superar los 200m en campo abierto.

Pero también tiene sus limitaciones, las cuales son:

- El número de clientes con encriptación está limitado. Esta limitación es de 10 clientes para el modo Estación, 6 como mucho en modo punto de acceso o modo mixto.
- El número total de clientes con y sin encriptación es de 20.
- Sólo se pueden enviar 250 bytes como mucho.

10.2.3.2 Alcance

Se probaron los microcontroladores ESP32 fuera del agua, alrededor de la pileta, y no se observaron problemas en la conexión entre los mismos. Al introducirlos en la pileta a unos 10 cm de profundidad, el alcance de la conexión se reducía a unos 12 metros, y continuaba disminuyendo a mayor profundidad.

10.3 Aviso

10.3.1 Modulo motor vibrador

Durante las pruebas del motor, por debajo del agua, se advirtió que el mismo emite un sonido resonante. El mismo podría indicar un problema para los nadadores dado que en las entrevistas más de la mitad indicó que podrían preferir el método de aviso por vibración por encima que el de sonido. De igual forma se mantuvo la idea inicial del motor para poder dejar a disposición de los usuarios y poder recibir un feedback en base a su experiencia.

11 Prototipos desarrollados

11.1 Prototipos funcionales

11.1.1 Prototipo 1: Sensor JSN SR04T + PIC16F887 + Bluetooth HC05 + Buzzer

11.1.1.1 Funcionalidad

El prototipo consistió en dos partes. La primera fue el transmisor compuesto de un microcontrolador 16f887, sensor ultrasónico y bluetooth 2.0. La segunda fue el receptor con un microcontrolador arduino nano, bluetooth 2.0 y un buzzer para emitir sonido. El transmisor al detectar que un objeto pasa frente al sensor ultrasónico envía un carácter al receptor, este lo recibe y emite sonido.

1. Al sensar distancias mayores a un valor límite inferior envía el carácter '0' por la comunicación serial al bluetooth hc 05 maestro, que se encuentra enlazado a la placa receptora en la cual hace sonar un buzzer.
2. Al sensar distancias menores o iguales a un valor límite superior envía el carácter '1' de la forma anteriormente mencionada.
3. El dispositivo comienza a sensar cuando se presiona el botón de reset
4. El dispositivo indica la cantidad de vueltas sensadas (50 metros de largo en pileta de natación de 25 metros, porque son cuenta ida y vuelta) al presionar y soltar el botón conectado a RBO. Esto hace entrar al PIC en la interrupción por el falling del botón.

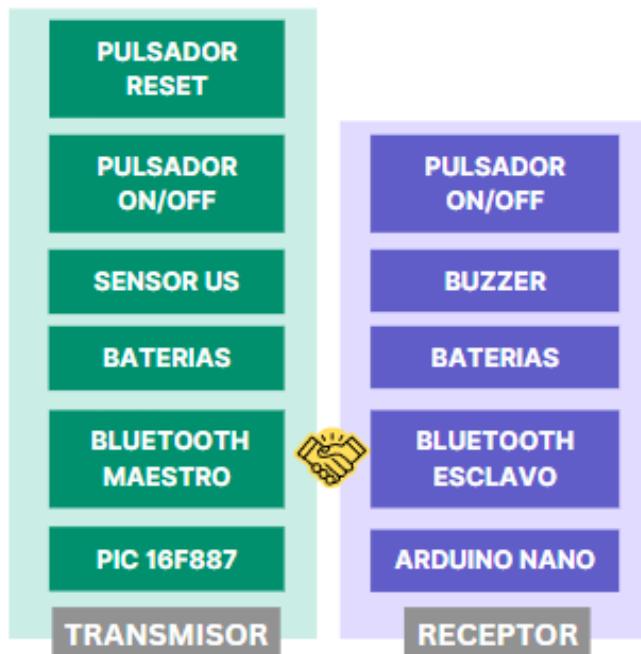


Figura 41 - Diagrama de bloques prototipo 1

11.1.1.2 Materiales utilizados

- 1 PIC 16F887
- 1 Sensor Ultrasónico HC-SR04
- 2 Bluetooth de largo alcance (master-slave) HC-05
- 1 Motor vibrador de celular
- Resistencias de 1k y 10k (varias)
- 2 Capacitores de 22pF

- 1 Cristal de cuarzo de 4MHz
- 2 Protoboard
- Pines de conexión para protoboard(varios)
- 3 Pulsadores

11.1.1.3 Pruebas implementadas sin usuarios

- Handshaking exitoso con la parte receptora
- Buena velocidad de envío de datos entre transmisor y receptor en aire. En la interfaz aire-agua la velocidad disminuye.
- Alcance máx medido en aire: 9 metros
- Alcance máx medido en agua(transmisor en aire, receptor en agua): 3cm agua, 40cm aire. Total 43 cm.

11.1.1.4 Pruebas con usuarios

No se lo usó en pruebas con usuarios debido a la poca fiabilidad de la comunicación bajo agua, lento handshaking, y fallas en algunos envío y recepción de datos.

11.1.1.5 Dificultades presentadas

1. Lento hand shaking
2. Alcance de comunicación bluetooth en aire comparado fue menor al previsto en la datasheet.
3. Alcance de comunicación bluetooth en agua casi nulo.

11.1.1.6 Diagrama de Conexión

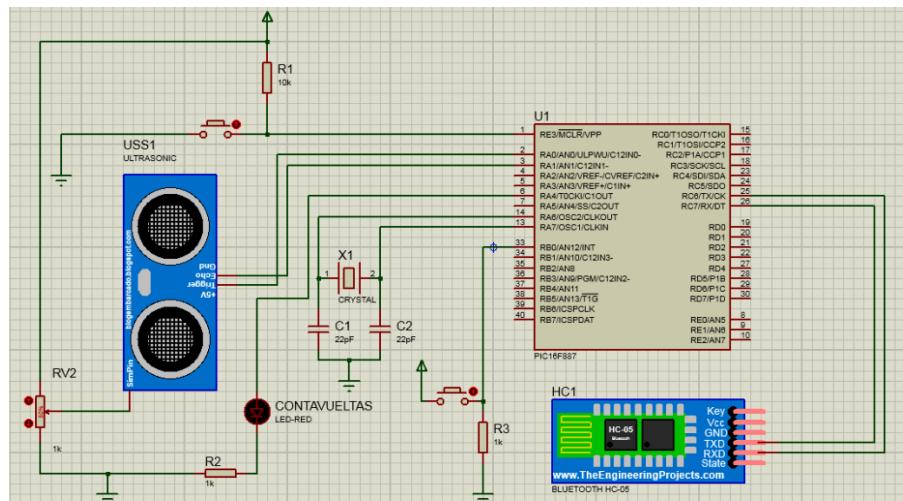


Figura N° 42: Esquema del circuito en Proteus

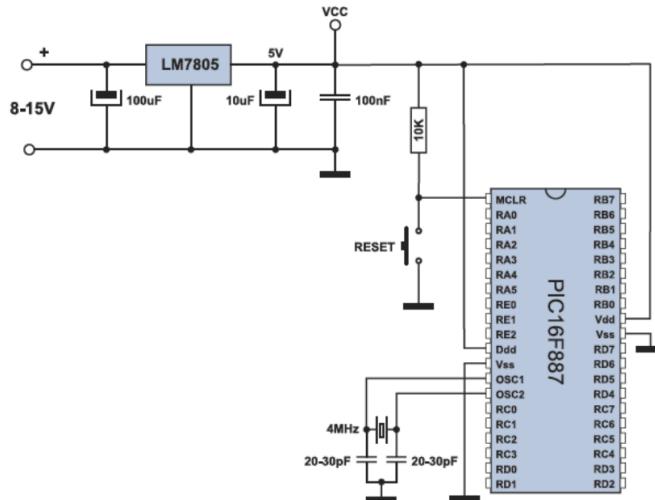


Figura N° 43: Esquema de alimentación del PIC 16F887

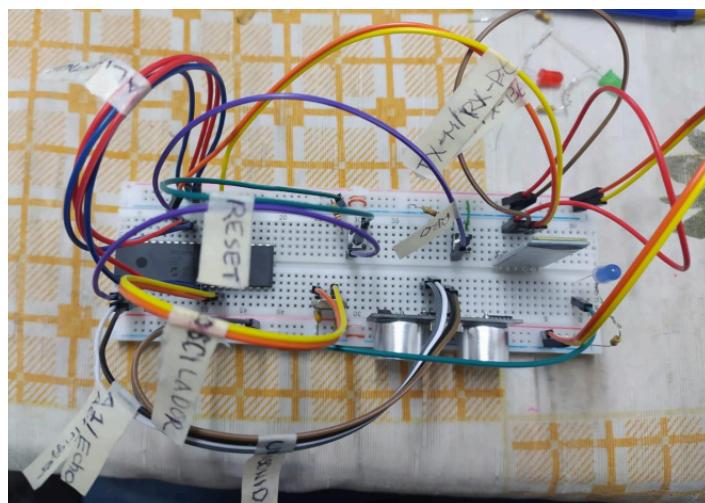


Figura N° 44: Armado y conexión de componentes en protoboard

11.1.2 Prototipo 2: Sensor JNS Sr04T + Placa Arduino + Bluetooth HC05 + Vibración

11.1.2.1 Funcionalidad

El prototipo consistió en dos partes. La primera fue el transmisor compuesto de un microcontrolador arduino UNO, sensor ultrasónico y bluetooth 2.0. La segunda fue el receptor con un microcontrolador arduino nano, bluetooth 2.0 y un motor vibrador todo ensamblado en una placa perforada e introducido dentro de una carcasa para gopro asegurando estanqueidad. El transmisor al detectar que un objeto pasa frente al sensor ultrasónico envía un carácter al receptor, este lo recibe y hace vibrar el motor. Se puso fuente de alimentación con pilas A23 para poder hacer pruebas con usuarios. Se incorporó una función de cuentavueltas pedida por los usuarios en el receptor. Por lo que el dispositivo contó con un botón extra al encendido con el cual al presionarlo el motor vibraba “n” veces indicando las “n” veces que el nadador hizo 50 metros.



Figura N° 45 - Diagrama de bloques prototipo 2

11.1.2.2 Materiales utilizados

- 1 Arduino uno
- 1 Nano Arduino uno
- 2 Módulo Bluetooth HC 05
- 1 Sensor JSN.
- 1 Motor vibrador
- 1 carcasa sumergible GoPro
- Cables finos unifilares
- Resistencias
- Pila recargable A23, 12 V
- Portapilas
- Placa perforada
- Pulsador
- Leds

11.1.2.3 Pruebas implementadas sin usuarios

- Handshaking exitoso con la parte receptora
- Buena velocidad de envío de datos entre transmisor y receptor en aire. En la interfaz aire-agua la velocidad disminuye.
- Correcto envío y recepción de datos.
- Alcance máx medido en aire: 9 metros
- Alcance máx medido en agua(transmisor en aire, receptor en agua):3cm agua, 40cm aire. Total 43 cm.
- Duración de batería: 30 min.

11.1.2.4 Pruebas implementadas con usuarios

- El dispositivo se colocó en la gorra, a fin de evitar problemas con la comunicación en la interfaz aire-agua (en la gorra es el lugar de menor molestia y que está normalmente más cerca o en la superficie).

- Los usuarios pidieron explícitamente la función de cuentavueltas. Se incorporó y hubo buen feedback.
- Hubo delays en el envío de la información, aviso muy cerca del borde de la pared
- La velocidad a la que se movía la nadadora entrenada y de competición necesitaba más velocidad en el procesamiento y envío de los datos.

11.1.2.5 Dificultades presentadas

- El delay lo hace no apto para nadadores entrenados que nadan a velocidades altas, puede ayudar a nadadores que están aprendiendo a nadar.
- Hubo dificultades con la placa perforada y los cables, se desoldaron debido a que el dispositivo entraba a presión dentro de la carcasa.
- La batería en el momento de usarla continuamente duró 10 min. Por lo tanto se la descartó y se tuvo que rehacer los cálculos para buscar otra fuente de alimentación.
- El dispositivo no estaba preparado para una persona con discapacidad, por lo que los usuarios pidieron si podía tener indicaciones que puedan ser palpables para identificar los botones.

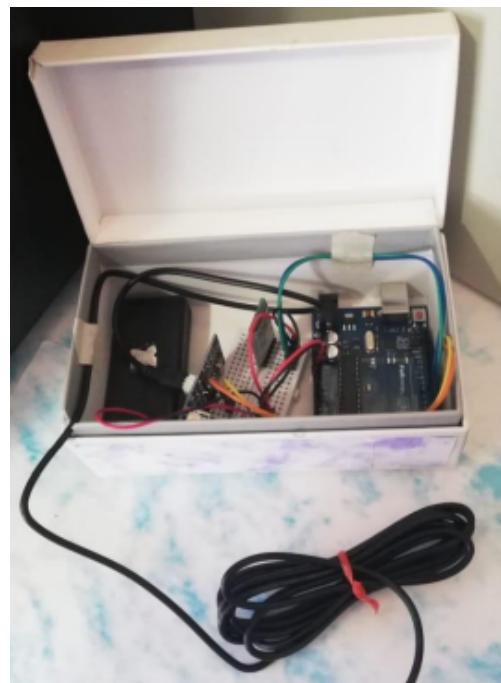


Figura N° 46: Transmisor: Sensor - Arduino



Figura N° 47: Receptor: Arduino - Bluetooth - Auriculares



Figura N° 48: Gorro con electrónica incorporada



Figura N° 49: Electrónica dentro de un gabinete estanco

11.1.3 Prototipo 3: Cámaras con YOLO v7 + Placa ESP32 + Wifi + Buzzer/Motor

11.1.3.1 Funcionalidad

Este prototipo consistió en dos cambios con respecto a los anteriores. El primer cambio fue en el microcontrolador, se reemplazó la placa Arduino por la placa ESP32 que tiene incorporado comunicación WiFi por el protocolo seguro ESP-NOW, y el segundo cambio fue en el tipo de sensado de sensor ultrasónico a cámaras con algoritmos entrenados de inteligencia artificial para reconocer nadadores y paredes.

Se investigaron distintos tipos de algoritmos y se terminó utilizando uno de detección de objetos en tiempo real YOLO v7. Se entrenó el algoritmo con imágenes de 4 piletas colaboradoras y luego se corrieron tanto videos grabados como webcam en tiempo real. El entrenamiento requirió de una placa gráfica en la computadora. El algoritmo hace un cálculo de distancia entre los nadadores y la pared en tiempo real y cuando supera un cierto umbral manda una señal de aviso por comunicación WiFi.

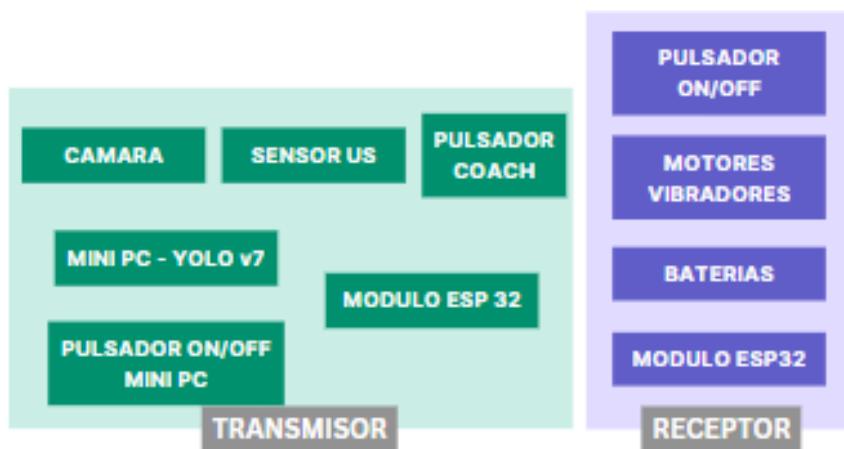


Figura N° 50 - Diagrama de bloques prototipo 3

11.1.3.2 Materiales utilizados

- 2 Placas ESP32 con wifi integrado
- 1 Webcam
- 2 Motor vibrador
- 1 Buzzer
- Leds
- Cables finos unifilares
- Resistencias
- Pulsadores
- Computadora con Windows 10, procesador i5 de 8va generación, 20 Gb de RAM y placa gráfica.

11.1.3.3 Pruebas implementadas sin usuarios

- La precisión y exactitud de la detección fue prometedora. Por lo que se decidió continuar entrenando el algoritmo para que funcione bien y pueda brindar seguridad en su uso.
- El algoritmo se entrenó para detectar nadadores, andariveles y paredes.
- El ESP32 tiene buena velocidad de envío y recepción de datos.

- El alcance máximo del microcontrolador con wifi en aire fue de 80 m aproximadamente.
- El alcance máximo del microcontrolador con wifi sumergido fue de 15 m aproximadamente, estando primero enlazados en aire y luego sumergido. Sumergido mantuvo la conexión hasta unos 30 cm. Cabe destacar que en esta prueba el microcontrolador se encontraba en una caja que mantenía mucho aire en su interior.
- Conexión instantánea al momento de encender los dispositivos.

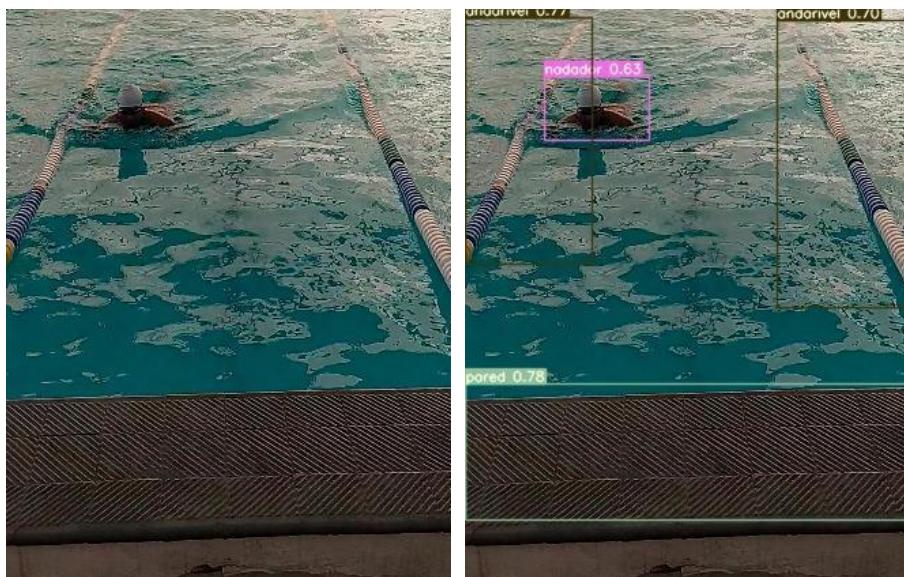
11.1.3.4 Pruebas implementadas con usuarios

Los nadadores indicaron diferentes feedbacks con respecto al modo de aviso pedido. La vibración para una de las usuarias resonaba demasiado en el agua de la cabeza por lo que la mareaba al momento de sumergir la cabeza en el agua, escuchando el sonido del motor por los oídos. Mientras que para la otra faltaba potencia en la vibración para poder alcanzar a sentirlo. La primera es una nadadora ya entrenada, mientras que la segunda nadaba antes de perder la visión. Se piensa en tener dos modos de vibración uno fuerte y otro más leve.

11.1.3.5 Dificultades presentadas

- Al haber exceso de humedad en el aire el microcontrolador dió alerta de errores en el envío y recepción de datos, indicando que no pudo realizarse de forma exitosa. Se mejoró el aislamiento de la caja contenedora del ESP32 transmisor.
- En un primer entrenamiento, se presentó una precisión baja a la hora de detectar la posición del nadador. Sin embargo, se pudo determinar el funcionamiento integrado del código en python con arduino pudiendo tener un correcto envío y recepción de caracteres. El algoritmo se siguió entrenando hasta conseguir detecciones prometedoras y fiables, ya descriptas anteriormente.
- Se debe analizar el tipo de protección del dispositivo para evitar posibles atenuaciones en la comunicación emisor/receptor.

11.1.3.6 Entrenamiento del código con su detección correspondiente



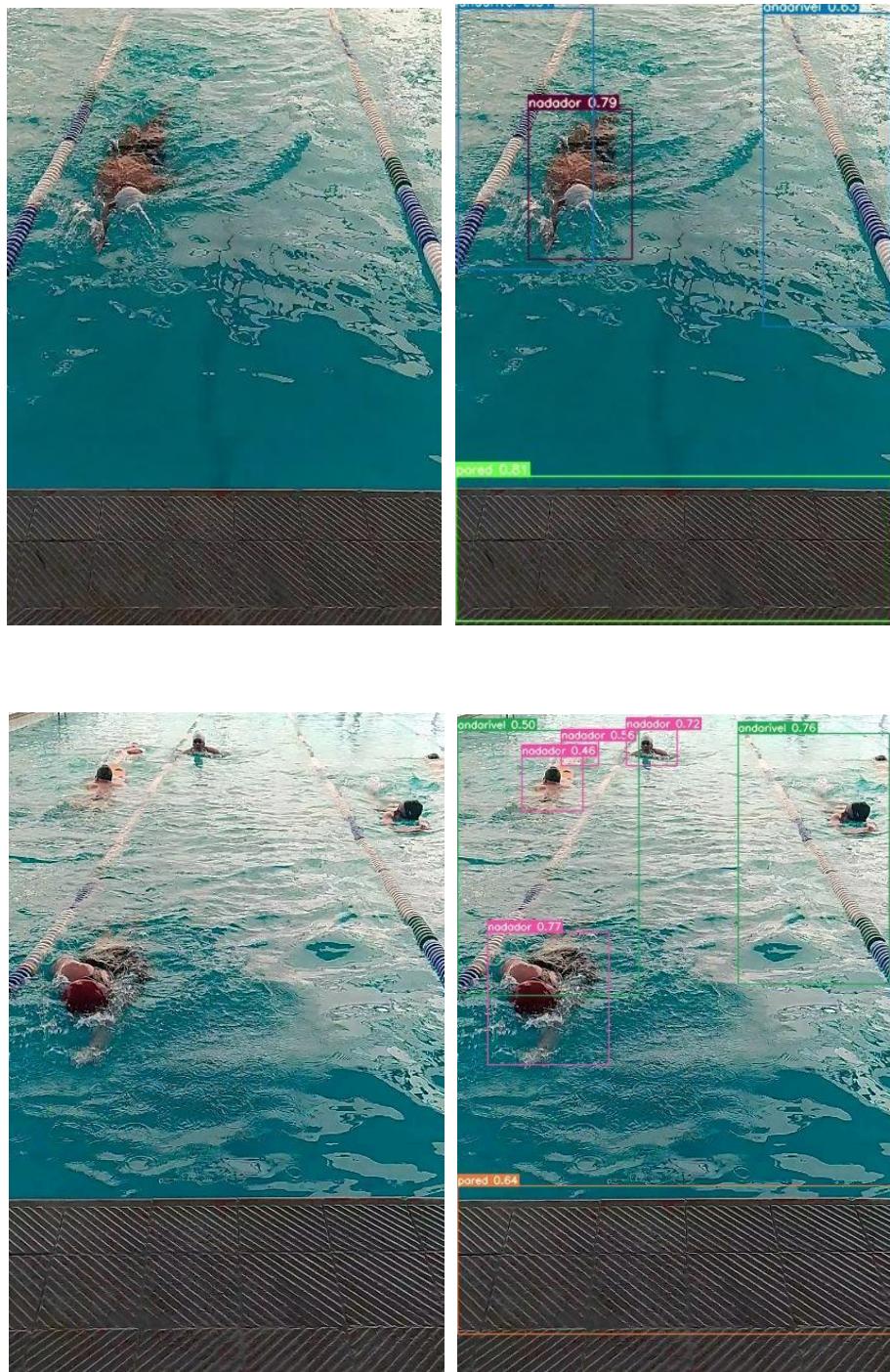


Figura N° 51: Capturas de cámara identificando nadadores

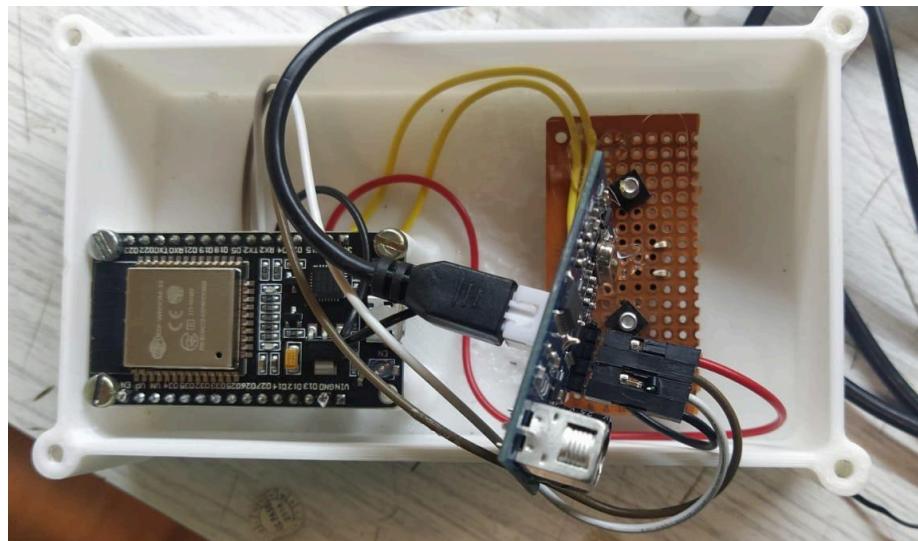


Figura N° 52: Aplicación del ESP32 en transmisor

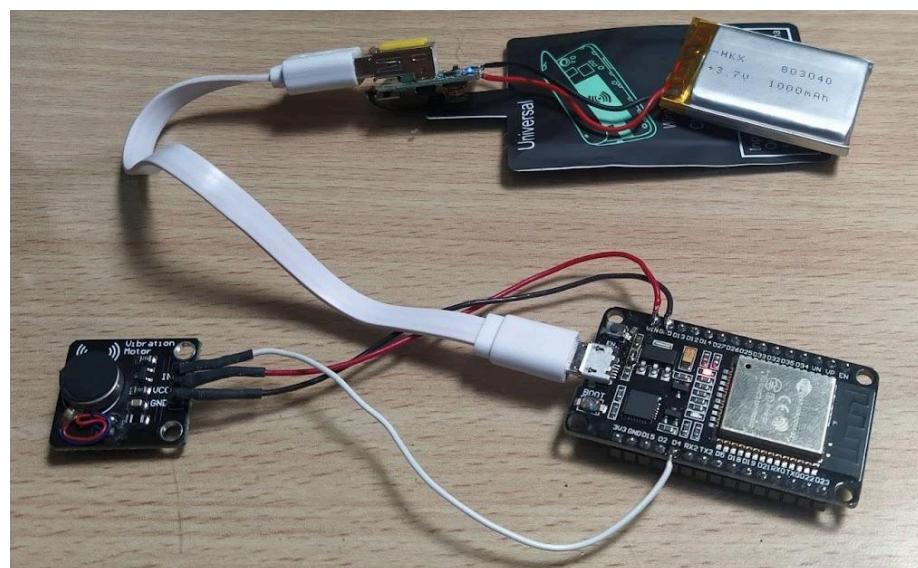


Figura N° 53: Aplicación del ESP32 en receptor. La carga de la batería se realiza de forma inalámbrica con una antena mediante un cargador Qi



Figura N° 54: Impresión 3D de las cajas contenedoras para el dispositivo

11.2 Consideraciones finales

11.2.1 Modos de detección

Dentro de las distintas opciones que fueron ensayadas a lo largo de este proyecto, por sus prestaciones funcionales se optó por que el dispositivo final cuente con:

- Accionamiento de pulsador manual por el entrenador
- Detección por cámara y algoritmo YOLO v7.
- Sensor ultrasónico.

11.2.2 Modos de aviso

- Vibración: fue elegido por encima del aviso sonoro ya que éste implicaba desconcentrar al usuario de otros sonidos propios del entorno de natación, que suelen ser útiles para su entrenamiento.
- Sonido resonante: se equilibraron los valores de la alarma permitiendo utilizar el sonido resonante como método de aviso a un nivel que no generara molestias auditivas.

11.2.3 Ubicación

- Nuca del nadador: se definió que la mejor ubicación se encuentra en la nuca, permitiendo mantener el dispositivo a una profundidad aceptable para que se mantenga en conexión y evitando molestias durante las brazadas y demás movimientos.

11.2.4 Comunicación

- WIFI mediante placa ESP32: esta opción fue la más ágil para el intercambio de avisos y la conexión de los dispositivos.

11.2.5 Alimentación

- Batería de litio: si bien se reconoce que el litio es un material peligroso en contacto con el agua, estas baterías ofrecen una duración mayor para el uso del dispositivo por lo que en el diseño se apuntó a asegurar la estanqueidad de los componentes.

- Carga inalámbrica: Al usar un receptor estanco, surgió la necesidad de que la carga sea inalámbrica. Por lo tanto se adquirió una batería recargable mediante una bobina. Al colocar la bobina sobre su módulo inductor, el cual se encuentra conectado a una pc, comienza la carga.

12 Pruebas de funcionalidad

Al haber terminado la fase de diseño se procedió a la prueba funcional del dispositivo bajo agua. La prueba se realizó en conjunto con 6 usuarios que accedieron y se logró coordinar los encuentros. Se verificó:

- Duración de las baterías, tiempo de funcionamiento mayor a cuatro horas, suficiente para el objetivo de uso.
- Hermeticidad, verificando que luego de cuatro horas de mantenerse sumergido, el dispositivo no presentaba inconvenientes en cuanto al posible contacto de la batería de litio con el agua.
- Funcionamiento de cada método de aviso por separado.
- Funcionamiento de los distintos métodos de aviso en conjunto para comprobar que se complementan correctamente.
- Tiempo de respuesta y conexión bajo agua, presentando una desconexión entre los módulos al sumergir el receptor por debajo de cinco centímetros de agua y con un tiempo de reconexión inmediato. Por lo tanto consideramos que ésto no es perjudicial para el proyecto, dado que los nadadores asoman la cabeza fuera del agua con cada brazada.
- Repetibilidad: comprobando que el dispositivo continuaba funcionando del modo esperado luego de quince usos.

Una vez corroborados estos puntos, se invitó a los usuarios colaboradores en la etapa de entrevistas a realizar un testeo del dispositivo.

Previamente al encuentro con los usuarios se realizó un ensayo con el equipo de desarrollo para calibrar parámetros de distancia y umbrales acordes a la pileta del estadio Kempes. Una vez calibrado, se procedió a las pruebas en usuarios.

12.1 Pruebas de usuario

La dinámica a llevar a cabo con cada usuario y su entrenador fue de la siguiente forma:

1. Explicación al usuario y su entrenador del funcionamiento del dispositivo; indicando cómo es el método de aviso y dejando en claro que la distancia de aviso puede ser modificable a su preferencia.
2. Familiarización del usuario con el dispositivo receptor mediante el tacto, para que pueda identificar el botón de encendido y verificar que la intensidad de vibración sea perceptible, tanto en sus manos como en la nuca, por debajo de la gorra.
3. Se probaron los diferentes métodos de aviso por separado, para testear la eficiencia, límites y precisión de cada uno, previo a utilizarlos en conjunto.
4. Para finalizar integramos los 3 métodos de aviso del dispositivo, buscando fallas en cuanto a:
 - Funcionamiento:
 - Tiempo de conexión-desconexión acorde a los estilos de nado dominados de los usuarios.
 - Tiempo de uso de baterías adecuado al tiempo de entrenamiento.
 - Confort del usuario:
 - Comodidad en diferentes ubicaciones corporales: se colocó el dispositivo en nuca, cabeza y espalda.
 - Percepción de vibración.
 - Sonido resonante del motor bajo agua.

12.1.1 Detección de inconformidades y soluciones

El ensayo con los usuarios permitió detectar y pulir los detalles del dispositivo para mejorar la experiencia en el uso del mismo.

- Percepción de la vibración baja: Algunos usuarios no llegaban a detectar el aviso por lo que requerían una intensidad de vibración mayor.
- Vibración excesiva: La nadadora experimentó dolores de cabeza al percibir la vibración constante durante un tiempo prolongado de entrenamiento. Por lo que para resolver el actual ítem junto al anterior se decidió dejar configuraciones seleccionables para el usuario, realizando combinaciones entre niveles altos, medios y bajos de cadencia y de vibración.
- Percepción del sonido resonante: Se advirtió que en algunos usuarios la frecuencia de vibración generaba molestias auditivas, debido a la generación de resonancia. Ante ésto, se optó por no utilizar niveles de cadencia excesivamente altos en las configuraciones antes mencionadas, para evitar que resulte molesto.
- Calibración de distancia de aviso para el sensor ultrasónico y el algoritmo de detección. El umbral se encontraba muy bajo para el gusto de algunos usuarios y alto para otros. Se adicionó un pulsador para selector de umbrales, todos valores preestablecidos en el código dentro de un rango razonable. Estos umbrales modifican solo al ultrasonido debido a que el umbral establecido para el algoritmo de detección está escrito en el código python.

13 Prototipo final

En base al feedback recibido se realizaron las mejoras pertinentes en el dispositivo, obteniendo una mejor performance del mismo. El prototipo final quedó conformado por los siguientes componentes:

- Módulo de Transmisión:
 - Cámara con trípode de apoyo
 - Mini PC: Procesador Intel Core i3-10110 U, 1TB de almacenamiento en disco rígido, sistema operativo ubuntu.
 - Sensor ultrasonico JSN-SR04T
 - ESP32 con wifi
 - Caja impresa en 3D con pulsador para aviso.
- Módulo de Recepción:
 - ESP32 con wifi
 - Dos módulos de motor vibradores.
 - Baterías de litio con carga inalámbrica.
 - 3 pulsadores (encendido/apagado, selector de umbral, selector de seteo).

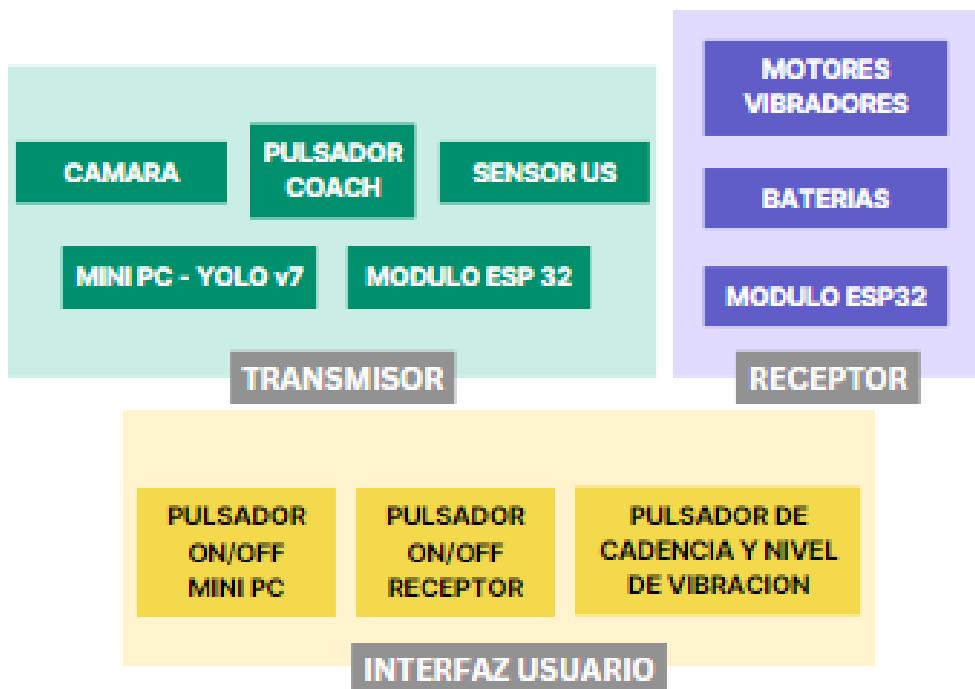


Figura 55 - Diagrama de bloques prototipo final

13.1 Funcionalidad

Al integrar los tres métodos de detección dentro del módulo de transmisión se buscó dar más seguridad al uso del dispositivo. El módulo transmisor emite constantemente caracteres 'B' hacia el receptor. En caso de superar cualquiera de los umbrales (de distancia en algoritmo YOLO y en detección por módulo ultrasónico) o por accionamiento del pulsador se emite un carácter 'A'. Este último carácter indica que se emite el aviso mediante la vibración de los motores en el receptor.

Aclaraciones sobre el transmisor:

- Se sumó el botón de aviso “Pulsador Coach” para permitir al entrenador indicar un stop de emergencia o para dar aclaraciones/avisos que le parezcan relevantes.

Aclaraciones sobre el receptor:

- En base al feedback recibido se decidió sumar 1 pulsador, para permitir al usuario elegir entre distintas combinaciones de nivel de vibración y de cadencia.
- Se añadió un led para saber que el dispositivo dio el aviso correspondientemente, ya que una vez sellado es difícil ver a simple vista si la señal llegó o no.
- Hermeticidad: Se utilizaron dos capas de bolsas herméticas sin aire en su interior.

Estas últimas mejoras apuntan a mejorar la percepción del entrenador y del equipo de trabajo para tener más seguridad a la hora de llevar a cabo nuevas pruebas y realizar entrenamientos.

13.1.1 Calibración

Es posible calibrar:

- Distancia de detección:
 - Por cámara en el algoritmo de YOLO v7 en python, accediendo a la variable umbral calibrable
 - Por código arduino cargado en ESP32, en la variable del umbral disparador.
- Cadencia de aviso.

13.2 Transmisor



Figura N° 56: Módulo transmisor con cámara registrando imágenes de la pileta

13.3 Receptor

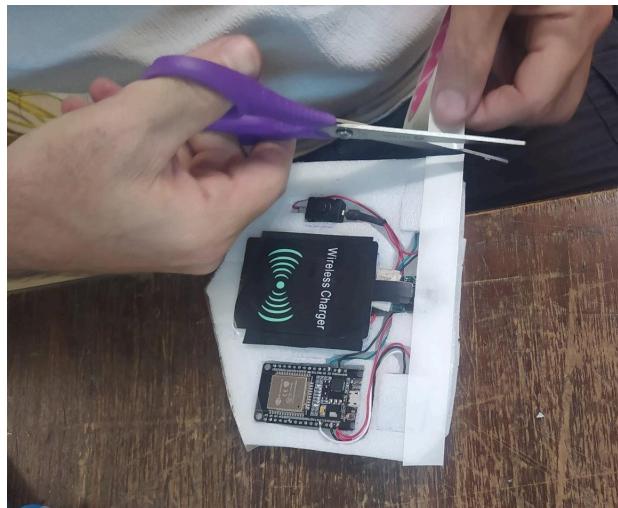


Figura N° 57: Módulo receptor, con componentes electrónicos internos a la vista

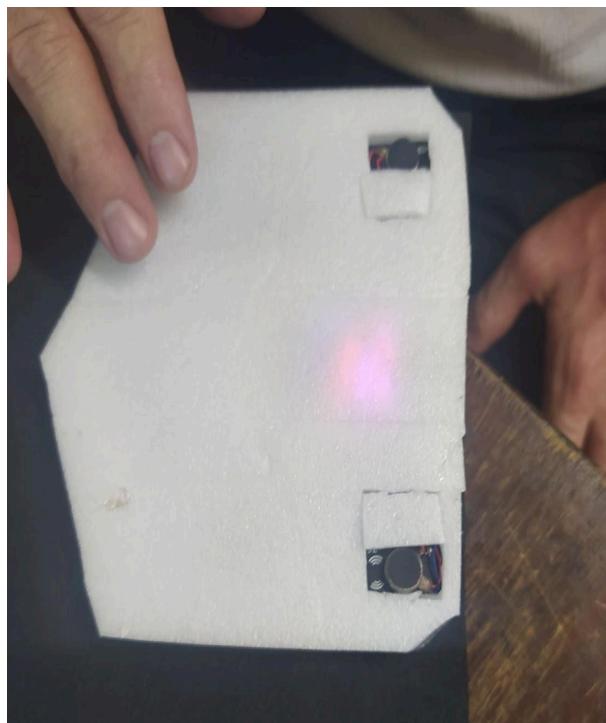


Figura N° 58: Módulo receptor, con vibradores a la vista

13.4 Resultados

Se presentan los resultados de las pruebas de funcionalidad del prototipo desarrollado y las mejoras implementadas en base a la retroalimentación de los usuarios.

Funcionalidad del Prototipo

- En cuanto a pruebas de inmersión, no se observaron inconvenientes relacionados con la posible entrada de agua en el dispositivo, lo que confirma su hermeticidad.

- Cada método de aviso opera de manera efectiva por separado y en conjunto, se determinó la eficiencia, límites y precisión de cada uno antes de su uso conjunto.
- El algoritmo de detección presentó fallas en algunas vueltas, por lo que se debe continuar el entrenamiento hasta alcanzar una precisión mayor tanto en métricas del algoritmo como en pruebas físicas del dispositivo en su totalidad.
- Al ser el aviso (por sensor ultrasónico) dependiente del nivel de agua de la pileta, debido a su sección de sensado cónica, se necesita recalibrar si se decide aumentar el nivel de agua de la pileta.
- El dispositivo mantiene la conexión cuando se sumerge a una profundidad de hasta cinco centímetros, lo que se considera aceptable para el objetivo que persigue.
- El dispositivo demostró ser consistente y continuó funcionando de acuerdo a las expectativas después de varios usos consecutivos.
- La duración de las baterías supera las 2 horas cumpliendo satisfactoriamente con el objetivo de uso previsto.

Pruebas de Usuario

- La retroalimentación de los usuarios y entrenadores indicó una clara comprensión del funcionamiento del dispositivo y una buena aceptación de la capacidad de personalización del nivel de intensidad de aviso. Se expresó la sencillez del dispositivo, siendo que tanto entrenadores como usuarios imaginaban un dispositivo muy complicado cuando se habló en la etapa de diseño.
- Los usuarios lograron familiarizarse rápidamente con el dispositivo receptor, identificando fácilmente el botón de encendido y experimentando una vibración perceptible tanto en las manos como en la nuca (debajo del gorro).
- Los usuarios expresaron su nivel de confort al usar el dispositivo en diversas ubicaciones corporales, incluyendo nuca, cabeza y espalda. En algunos fue bajo y en otros alto según las preferencias individuales. Se espera poder seguir mejorando en la búsqueda de un diseño más cómodo para el usuario.

Detección de Inconformidades y Soluciones

- Se identificó que algunos usuarios no detectaban el aviso debido a una percepción de vibración baja, lo que llevó a la implementación de configuraciones seleccionables para la intensidad de vibración.
- Algunos usuarios experimentaron molestias debido al sentimiento de una vibración constante. Como solución, se habilitaron configuraciones de nivel de vibración y cadencia seleccionables.
- La frecuencia de vibración generaba molestias auditivas en algunos usuarios, lo que llevó a evitar niveles de cadencia excesivamente altos en las configuraciones.
- Los usuarios actualmente pueden calibrar el dispositivo según sus preferencias en términos de distancia de detección y cadencia de aviso.
- Se indicó la necesidad de un mayor nivel de identificación y diferenciación de los botones por medio del tacto. Se debe trabajar en un diseño estético de mayor orientación para el usuario.

14 Conclusiones y recomendaciones

Hoy en día la tecnología ha avanzado considerablemente dando muchas herramientas a las personas, que tienen o no algún tipo de discapacidad, ya sea en lo social, deportivo, educativo, etc. Sin embargo, no ha llegado a ayudar a las PCD visual que practican o desean practicar natación.

El presente trabajo fue llevado a cabo en búsqueda de brindar autonomía a los nadadores con discapacidad visual que se ven en relación de dependencia constante para con sus entrenadores.

Para ello fue necesario partir de la base del diseño centrado en el usuario como paradigma de investigación y desarrollo que guiase a la consecución de dicha meta, generando objetivos medibles y flexibles que permitieran un feedback constante para enfocar los esfuerzos y recursos de la manera más eficaz posible.

Luego de que se plantease la creación del presente dispositivo de asistencia deportiva, se llevaron a cabo varias entrevistas a posibles usuarios y entrenadores, lo cual ayudó a definir los objetivos específicos que orientaron la investigación. En este punto se tuvo en cuenta que el dispositivo requeriría la unión de tecnologías que permitieran realizar las acciones de detección, comunicación y aviso.

La exploración del mercado actual permitió conocer que no se encuentra a disposición de los nadadores una herramienta como la planteada, lo cual posibilitó por un lado mayor libertad en cuanto al diseño, pero así también generó limitaciones en el sentido de no contar con una base de tecnología previa que pudiese servir como parámetro para la meta propuesta.

Este proyecto integrador fue un camino en gran parte teórico, en el que se nutrió al equipo de trabajo de mucha información sobre: componentes electrónicos, modos de funcionamiento y su interacción física con los fluidos. Sumado a la interacción humana que se tuvo durante todo el proceso, se llegó a aprender e interiorizar, desde la experiencia, variedad de tecnologías y sobre todo, lo más importante, conocer de manera más cercana cómo viven las personas que presentan alguna discapacidad; sus miedos, deseos, necesidades y aspiraciones.

Si bien actualmente se pueden plantear muchas mejoras para este dispositivo, nos enorgullece poder dar nuestro aporte donde antes no existía una herramienta similar, como base para futuros proyectos. Creemos que el impacto sobre la vida de las personas con discapacidad visual será positivo al ofrecerles mayor autonomía en su práctica deportiva. A su vez esta tecnología podría ser modificada y aplicada a diversas áreas de su vida.

Queremos destacar que este proyecto no hubiera sido posible sin el trabajo colaborativo e interdisciplinario. Aquí tuvo un papel clave el aporte realizado por distintos colaboradores, cada uno desde su área de conocimiento, quienes compartieron su saber con nosotros, así como su tiempo, permitiéndonos realizar conexiones entre los diferentes recursos disponibles y las necesidades planteadas.

Como jóvenes investigadores, compartimos un recorrido largo en la búsqueda de soluciones que nos llevó ante desafíos que no hubiéramos pensado en afrontar, pero que nos permitieron crecer tanto personal como profesionalmente, buscando siempre ayuda en los momentos necesarios, reconociendo nuestras limitaciones y trabajando para superarlas.

Consideramos que hemos cumplido con los objetivos que nos hemos propuesto y esperamos que a futuro este proyecto siga creciendo con el aporte de más estudiantes deseosos de brindar una mejor calidad de vida a la población de sus comunidades.

15 Trabajos a futuro

Como posibilidades de trabajo a futuro se plantea la idea de una reestructuración del dispositivo que amplíe su rango a más nadadores y más carriles con algún sistema de identificación por color de gorras o mallas. De esta manera un mismo dispositivo podría ser útil para varios nadadores al mismo tiempo. Otra propuesta es agregar distintos umbrales de distancia seleccionables por el usuario.

Por otro lado, se propone continuar la búsqueda de adaptaciones para el sensor de ultrasonido que permitan al mismo sensar bajo agua. Para dicha meta es necesario mayor potencia, cristales piezoelectricos que lo soporten y un microcontrolador programable.

En cuanto a la disposición y su ubicación actual al borde de la pileta, se prevé como posible mejora un cambio que permita que el mismo se encuentre en el techo y desde ahí realice el sensado y detección. Esto evitaría posibles choques en el borde de la pileta.

Sobre el diseño, se propone disminuir el tamaño total y agregar adaptaciones con rugosidades en donde irían los botones permitiendo encontrarlos de forma más rápida.

Por último, en este proyecto el dispositivo sólo pudo ser probado por un grupo reducido de personas. Por ello, para continuar mejorando, se espera que más usuarios puedan probar el dispositivo y brindar devoluciones sobre el mismo. No obstante, dicho grupo nos permitió plantear una solución con posibilidades de crecimiento para esta área del deporte.

16 Bibliografía y Referencias

- [1] "Casi 900.000 personas tienen dificultades visuales en Argentina, según el Indec." Télam, 24 February 2019,
<https://www.telam.com.ar/notas/201902/335580-casi-900000-personas-tienen-dificultades-visuales-en-argentina-segun-el-indec.html>. Accessed 11 October 2023.
- [2] "ENCUESTA SOBRE HÁBITOS DEPORTIVOS DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD Javier Pérez, Javier Alonso, Juan José García, Javier Coterón." Munideporte,
https://www.munideporte.com/imagenes/documentacion/ficheros/20110316160245javier_perez.pdf. Accessed 11 October 2023.
- [3] "Natación adaptada: deporte inclusivo - VALIDA." Válida sin barreras,
<https://www.valida.es/blog/post/natacion-adaptada-inclusividad-beneficios/>. Accessed 11 October 2023.
- [4] Organización Mundial de la Salud. (2011). *Informe Mundial sobre la Discapacidad*. Retrieved July 23, 2023,
<https://www.who.int/teams/noncommunicable-diseases/sensory-functions-disability-and-rehabilitation/world-report-on-disability>.
- [5] *Discapacidad*, 7 March 2023,
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>. Accessed 11 October 2023
- [6] *Discapacidad - OPS/OMS / Organización Panamericana de la Salud*. (n.d.). PAHO. Retrieved July 23, 2023, from <https://www.paho.org/es/temas/discapacidad>
- [7] Hermida Ayala, L., & Mateos Borregón, L. (2010). Cuando las deficiencias se convierten en discapacidad. *Prisma Social: revista de investigación social*, 1(5), 349-381. ISSN-e 1989-3469.
- [8] Perez Ayesa, A. (2016). *Impacto de la discapacidad en el núcleo familiar*. Universidad Pública de Navarra,
https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/23449/TFG_AMAIA%20PEREZ%20AYESA.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Tener%20un%20miembro%20afectado%20por,%2C29%2C40). Accessed 19 October 2023.
- [9] *Salud visual - OPS/OMS / Organización Panamericana de la Salud*. (n.d.). PAHO. Retrieved July 23, 2023, from <https://www.paho.org/es/temas/salud-visual>
- [10] Consejo Nacional de Fomento Educativo, México. (2010). *Discapacidad Visual. Guía didáctica para la inclusión en educación inicial y básica*, <http://www.repository.usac.edu.gt/14915/1/13%20T%201178.pdf>. Accessed 19 October 2023.
- [11] (2022, October 13). Ceguera y discapacidad visual,
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. Accessed 19 October 2023.
- [12] Organización Mundial de la Salud. (2001). *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud*, https://aspace.org/assets/uploads/publicaciones/e74e4-cif_2001.pdf. Accessed 19 October 2023.
- [13] Organización Mundial de la Salud. (1992). *Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud* (10th ed.),

- <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/6282/Volume1.pdf>. Accessed 19 October 2023.
- [14] Lecot, A. (2018, December 7). *Natación adaptada: Qué Es, Características y Videos de la Competencia.* Natación. Retrieved July 23, 2023, from <https://natacion.com.ar/natacion-adaptada/>
- [15] "Natación | Paralímpicos." Comité Paralímpico Español, <https://www.paralimpicos.es/deportes-paralimpicos/natacion>. Accessed 11 October 2023.
- [16] Vaquero Benito, J. L. (n.d.). *Aspectos sobre las actividades acuáticas para personas con discapacidad visual*, https://www.deficienciavisual.pt/txt-Actividades_acuaticas_dv.htm. Accessed 19 October 2023.
- [17] Alarcon Carabajo, L. A. (2014). *Propuesta metodológica para la enseñanza de la natación en personas con deficiencia visual de la sociedad de NO-VIDENTES (SONVA) del Azuay.* Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7189>. Accessed 19 October 2023.
- [18] IBSA International Blind Sports Federation: Home of blind sports, <https://ibsasport.org/>. Accessed 11 October 2023.
- [19] "Federación Argentina De Ciegos (Fadec)." Facebook, https://www.facebook.com/federacionargentinadeciegos.fadec/?locale=es_LA. Accessed 11 October 2023.
- [20] López Bustos, A. (2003). Los invidentes y la natación: Organismos y competición. [http://www.efdeportes.com/Revista Digital, Año\(Nº 58\)](http://www.efdeportes.com/Revista_Digital, Año(Nº 58))
- [21] International Standardization Organization. (2019). *ISO 9241-11:2019. Ergonomía de la interacción persona-sistema. Parte 11: Usabilidad: Definiciones y conceptos.*
- [22] International Standardization Organization. (2019). *ISO 9241-210:2019. Ergonomía de la interacción hombre-sistema - Parte 210: Diseño centrado en el operador humano para los sistemas interactivos.*
- [23] International Standardization Organization. (2021). *ISO 9999: 2021: Productos de apoyo para personas con discapacidad. Clasificación y Terminología.*
- [24] ANMAT. (2002). *Reglamento Técnico Mercosur de Registro de Productos Médicos*, <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/disposici%C3%B3n-2318-2002-75867/texto> International Standardization Organization. (2019). *ISO 9241-11:2019.*
- [25] Lazcano Dequino Rodrigo. Aviso de fin de pileta para nadadores con discapacidad visual. 2022.
- [26] "Proyectos de tecnologías para la inclusión social." Argentina.gob.ar, <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/financiamiento/procodas2021>. Accessed 11 October 2023.
- [27] "PROCODAS Programa Nacional de Tecnologías e Innovación Social (PTIS)." *Mapas de recursos*, <https://www.mapasderecursos.org.ar/convocatorias/procodas-programa-nacional-tecnologias-e-innovacion-social-ptis-0>. Accessed 11 October 2023.

- [28] *Concurso Nacional de Innovaciones / INNOVAR*, <https://www.innovar.mincyt.gob.ar/>. Accessed 11 October 2023.
- [29] "Se conocieron los proyectos ganadores de una nueva edición del concurso INNOVAR." *Argentina.gob.ar*, 22 October 2022, <https://www.argentina.gob.ar/noticias/se-conocieron-los-proyectos-ganadores-de-una-nueva-edicion-del-concurso-innovar>. Accessed 11 October 2023.
- [30] Briones-Veliz, T. G., Carvajal-Avila, D. A., & Sumba-Bustamante, R. Y. (2021). *Utilidad del benchmarking como estrategia de mejora empresarial* (56th ed., Vol. 6). Polo del Conocimiento, Ecuador, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926897>. Accessed 19 October 2023.
- [31] "Blindcap Projects | Photos, videos, logos, illustrations and branding on Behance." Behance, <https://www.behance.net/search/projects/?search=blindcap>. Accessed 19 October 2023.
- [32] "Samsung Blind Cap, un gorro de natación con tecnología bluetooth incorporada." WWWWhat's new, 5 September 2016, <https://wwwwhatsnew.com/2016/09/05/samsung-blind-cap-un-gorro-de-natacion-con-tecnologia-bluetooth-incorporada/>. Accessed 19 October 2023.
- [33] "CAES'99 Conference Publications Format." SOCIEDAD DE ERGONOMISTAS DE MEXICO, A.C., <http://www.semac.org.mx/archivos/9-20.pdf>. Accessed 19 October 2023.
- [34] "LA ERGONOMÍA ES PARTE DEL PROCESO DE DISEÑO INDUSTRIAL." SOCIEDAD DE ERGONOMISTAS DE MEXICO, A.C., <http://www.semac.org.mx/archivos/5-4.pdf>. Accessed 19 October 2023.
- [35] "►¿Cómo hacer un focus group efectivo? +TIPS." Crehana, 15 December 2021, <https://www.crehana.com/blog/negocios/como-hacer-un-focus-group/>. Accessed 19 October 2023.
- [36] Challenger-Pérez, I., Díaz-Ricardo, Y., & Becerra-García, R. A. (2014, Abril). El lenguaje de programación Python. *Ciencias Holguín, Cuba*, XX(2), 1-13, <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181531232001.pdf>. Accessed 19 October 2023.
- [37] "¿Qué es un IDE? - Explicación de los entornos de desarrollo integrado - AWS." AWS, <https://aws.amazon.com/es/what-is/ide/>. Accessed 19 October 2023.
- [38] Microsoft Visual Studio, Concepto y ¿Qué es y para qué sirve Microsoft Visual Studio? (n.d.). Espacio Honduras. Retrieved July 23, 2023, from https://www.espaciohonduras.net/microsoft-visual-studio-concepto-y-que-es-y-para-que-sirve-microsoft-visual-studio#google_vignette
- [39] Zambetti, N. (n.d.). ¿Sabes qué es un Arduino y para qué sirve? Fundación Aquae. Retrieved July 23, 2023, from <https://www.fundacionaquaee.org/wiki/sabes-arduino-sirve/>
- [40] Microchip Technology Inc. (2004). *MPLAB IDE, Quick start guide*, <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51281d.pdf>. Accessed 19 October 2023.

- [41] *Características-basicas-del-pic16f887*. (n.d.). MIKROE. Retrieved July 23, 2023, from <https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-c-con-ejemplos/caracteristicas-basicas-del-pic16f887>
- [42] Suárez, R. J. (n.d.). *ARDUINO – Blog de Tecnologías*. Gobierno de Canarias. Retrieved July 23, 2023, from <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/rsuagued/arduino/>
- [43] Bruno, Andrés Raúl. “ESP32 NODE MCU.” Microelectrónica Componentes SRL |, https://www.microelectronicash.com/downloads/ESP32_MANUAL.pdf. Accessed 19 October 2023.
- [44] *Sensores ultrasónicos / Principio*. (n.d.). microsonic. Retrieved July 23, 2023, from <https://www.microsonic.de/es/suporte/ultrasonic-tecnolog%C3%ADA/principio.htm>
- [45] Doza, German. “Sensor Ultrasónico Informe | PDF | Física | Física Aplicada e Interdisciplinaria.” Scribd, <https://es.scribd.com/document/436940521/Sensor-Ultrasonico-informe-docx>. Accessed 19 October 2023.
- [46] *Sonido / Ultrasonido : Módulo sensor de distancias HC-SR04*. (n.d.). Eneka. Retrieved July 23, 2023, from <https://www.eneka.com.uy/robotica/sensores/sonido/m%C3%B3dulo-sensor-de-distancias-hc-sr04-detail.html>
- [47] *Sensor ultrasónico resistente al agua JSN-SR04T DFRobot SEN0208*. (n.d.). BricoGeek.com. Retrieved July 23, 2023, from <https://tienda.bricogeek.com/sensores-distancia/1058-sensor-ultrasonico-resistente-al-agua-jsn-sr04t.html>
- [48] *Sensor Ultrasónico Modelo AJ-SR04M Resistente al Agua No Sumergible*. (n.d.). MaxElectrónica. Retrieved July 23, 2023, from <https://maxelectronica.cl/movimiento-distancia/353-sensor-ultrasonico-modelo-aj-sr04m-resistente-al-agua-no-sumergible.html>
- [49] “Ping2 Sonar Echosounder for Underwater Distance Measurement.” Blue Robotics, <https://bluerobotics.com/store/sonars/echosounders/ping-sonar-r2-rp/>. Accessed 19 October 2023.
- [50] Rodríguez, Rubén. “Detección de objetos I: YOLO • Un artículo de LMO.” La Máquina Oráculo, <https://lamquinaoraculo.com/deep-learning/deteccion-de-objetos/>. Accessed 19 October 2023.
- [51] Menegaz, Mauricio. “Entendiendo YOLO.” HackerNoon, 16 March 2018, <https://hackernoon.com/es/comprehension-yolo-f5a74bbc7967>. Accessed 19 October 2023.
- [52] Erhan, Dumitru. “(PDF) SSD: Single Shot MultiBox Detector.” ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/308278279_SSD_Single_Shot_MultiBox_Detector. Accessed 19 October 2023.
- [53] “DavidReveloLuna/HandDetectRetinaNet: Hand detection using retinanet.” GitHub, <https://github.com/DavidReveloLuna/HandDetectRetinaNet>. Accessed 19 October 2023.
- [54] “Figure 1. Faster Region-based Convolutional Neural Network (R-CNN)...” ResearchGate, https://www.researchgate.net/figure/Faster-Region-based-Convolutional-Neural-Network-R-CNN-algorithm-framework_fig1_335478612. Accessed 19 October 2023.

- [55] Odemakinde, Elisha. "Everything about Mask R-CNN: A Beginner's Guide - viso.ai." Viso Suite, <https://viso.ai/deep-learning/mask-r-cnn/>. Accessed 19 October 2023.
- [56] Sharma, Pulkit. "Image Segmentation Python | Implementation of Mask R-CNN." Analytics Vidhya, 24 August 2023, <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2019/07/computer-vision-implementing-mask-r-cnn-image-segmentation/>. Accessed 19 October 2023.
- [57] Tan, Lu, et al. "Comparison of RetinaNet, SSD, and YOLO v3 for real-time pill identification - BMC Medical Informatics and Decision Making." BMC Medical Informatics and Decision Making, 22 November 2021, <https://bmcmedinformdecismak.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12911-021-01691-8>. Accessed 19 October 2023.
- [58] "WongKinYiu/yolov7: Implementation of paper - YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors." GitHub, <https://github.com/WongKinYiu/yolov7>. Accessed 19 October 2023.
- [59] Salazar, J. (n.d.). *Redes inalámbricas*. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická, https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf. Accessed 19 October 2023.
- [60] (n.d.). 4. Tecnología Bluetooth. Retrieved July 23, 2023, from <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproj/40048/fichero/VOLUMEN+1.+MEMORIA%252F4.+Tecnolog%C3%ADA+Bluetooth.pdf>
- [61] *Módulos comunicación : Módulo Bluetooth HC05*. (n.d.). Eneka. Retrieved July 23, 2023, from <https://www.eneka.com.uy/robotica/modulos-comunicacion/m%C3%B3dulo-bluetooth-hc05-detail.html>
- [62] *Módulo Bluetooth 4.0 BLE HM-10*. (n.d.). Naylamp Mechatronics. Retrieved July 23, 2023, from <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/133-modulo-bluetooth-40-ble-hm-10.html>
- [63] "Internet de las Cosas de largo alcance (LoRa)." Teldat, 14 November 2017, <https://www.teldat.com/es/blog/internet-de-las-cosas-de-largo-alcance-lora/>. Accessed 19 October 2023.
- [64] Mejías Rojas, D. A. (2021). *Diseño de protocolo de redes Mesh basado en LoRa*. Universidad Politécnica de Valencia, <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/173566/Mejias%20-%20Diseno%20de%20un%20protocolo%20de%20redes%20Mesh%20basado%20en%20LoRa.pdf?sequence=2>. Accessed 19 October 2023.
- [65] "Comunicación Inalámbrica con módulos de RF de 433Mhz." Naylamp Mechatronics, https://naylampmechatronics.com/blog/32_comunicacion-inalambrica-con-modulos-de-rf-de-433mhz.html. Accessed 19 October 2023.
- [66] *Modulo Rf Transmisor Y Receptor 433 Mhz Arduino*. (n.d.). Todomicro. Retrieved July 23, 2023, from <https://www.todomicro.com.ar/arduino/230-modulo-rf-transmisor-y-receptor-433-mhz-arduino.html>

- [67] *Módulo Buzzer Activo KY-012.* (n.d.). Altronics Chile. Retrieved July 23, 2023, from <https://altronics.cl/buzzer-activo-ky-012>
- [68] *Auriculares impermeables.* (2022, August 30). Tienda mía. Retrieved July 23, 2023, from https://tiendamia.com/ar/producto?amz=B08DMFF2KJ&gclid=Cj0KCQiAxbefBhDfARIsAL4XLRp0QKv8HGduL_WYIRbD19sOsTw52U0hS6jexANhORxxjoifkiQ7JxgaAlhbEALw_wcB
- [69] *Módulo Mini Vibrador PWM.* (n.d.). SANDOROBOTICS. Retrieved July 23, 2023, from <https://sandorobotics.com/producto/sd-0041/>
- [70] Martí, A. (2016, September 16). *Qué es el "Taptic Engine" de Apple y por qué es más grande en el iPhone 7 Plus.* Xataka Móvil. Retrieved July 23, 2023, from <https://www.xatakamovil.com/apple/que-es-el-taptic-engine-de-apple-y-por-que-es-mas-grande-en-el-iphone-7-plus>
- [71] Aparicio, J., García, E., & Jiménez, A. (n.d.). *Modelos de Propagación de Señales Acústicas en Entornos Subacuáticos.* Departamento de Ing. Eléctrica, Electrónica y Automática, Universidad de Extremadura, https://geintra-uah.org/index.php?q=system/files/modelos_de_propagacion_de_señales_acusticas_en_entornos_subacuaticos_i_y_ii-vdef.pdf. Accessed 19 October 2023.
- [72] Priego García, L. (2018). *Estudio del protocolo TLS.* Universitat Oberta de Catalunya, <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/81045/6/lprigarTFM0618memoria.pdf>. Accessed 19 October 2023.

17 Anexos

17.1 ANEXO A: Entrevistas UX

17.1.1 Entrenadores

Entrenador 1: Entrenadora de natación paralímpica de la Agencia Córdoba Deporte y entrenadora particular.

En su equipo hay otros nadadores no videntes de categoría promocional. Ellas serán nuestro equipo de apoyo, quienes nos acompañen en el desarrollo del primer prototipo de nuestro proyecto y en todo el proceso.

Recomendaciones brindadas por ellas:

- Ver el largo de la brazada de la nadadora, el cierre de las piernas para dar la vuelta, la velocidad a la que va y con eso calcular la distancia a la que debemos dar la señal de aviso.
- Ejemplo: su velocidad en pecho máxima es de 1,40 en 100 metros.
- El clavado de ella no es realizado con mucha potencia, relativamente cerca.
- Se guía mucho con el andarivel (dispositivo no debe rozarlos)
- Considerar los posibles delays del bluetooth o wifi.
- El dispositivo de aviso no debe interferir en la técnica o molestar a la hora del clavado desde el podio.
- Las únicas dos adaptaciones son el taper (bastón de aviso) y antiparras oscurecidas para igualar discapacidades visuales.
- Existen distintas categorías según el grado de discapacidad visual.

Entrenador 2: Entrenadora de educación física especializada en deportes adaptados. Entrena su equipo de nadadores con discapacidad visual para competencias nacionales y paralímpicas.

Se realizó una visita a la pileta del Club Gimnasia y Tiro de Salta Capital. En la misma pudimos ver un ambiente en el cual se desarrolla natación adaptada para distintas personas con diversas discapacidades.

La entrenadora nos presentó a:

- Dos nadadores ciegos (hermanos) y uno con capacidad visual disminuida, todos entre 18 y 22 años de edad, competidores (estuvieron en LIMA 2019).
- Una nadadora que comenzaba a nadar de 65 años de edad.
- Una nadador de 11 años con un brazo amputado.
- Dos nadadores uno con autismo y otro con asperger.
- Una persona en rehabilitación por discapacidad motriz general, en silla de ruedas.

Preguntamos sobre dimensiones de piletas de entrenamiento, de competición nacional, internacional, olímpica y paralímpicas, en caso de poder aprovechar la estructura para el prototipo.

Nos explicó sobre cómo es el método de indicación de vuelta americana actual, que sería con el dispositivo reglamentario “taper”, que consiste en un bastón desarmable que posee en su punta una pelota de telgopor, con la cual indica a los chicos tocándolos en el pecho o en la espalda.

“En competiciones se separan a los chicos en diferentes categorías según la capacidad visual que posean S11 (ceguera total), S12 y S13 (Capacidad visual disminuida). Siendo la capacidad del S13 mayor a la del S12. Hay veces en las que se mezclan las diferentes clasificaciones por lo tanto usan unas antiparras especiales que son opacas. Están ennegrecidas totalmente para no dar ventaja entre los distintos competidores.”

Entrenador 3: Entrenador de natación de la Universidad Católica de Salta.

En este caso, se entusiasmó mucho con la idea y nos dijo que armemos el prototipo, dejándolo a nuestro criterio. Luego, él nos podría proporcionar piletas, nadadores con discapacidad visual y entrenadores extras que quieran probar el dispositivo para hacer mediciones y ver que tal funciona. Nos parece que deberíamos tener en cuenta la opinión de los chicos y los entrenadores en conjunto.

“Es un área muy olvidada por la sociedad en cuanto a innovación tecnológica. Sería muy bueno poder contar con un dispositivo que pueda facilitar los entrenamientos, y la familiarización con la piletta de nadadores nuevos.”

“Ayuda muchísimo a la autoestima de las personas con discapacidad visual”.

Entrenador 4: Entrenador especializado en deportes adaptados. Actual entrenador del equipo de golbol “Los mapaches”.

El equipo de los mapaches tiene mucha experiencia en deportes para personas con discapacidad visual. En el básquet, por ejemplo, el sonido termina siendo molesto para ellos. Para él y el equipo en general el tacto está por encima del sonido, por fuera del agua. Por debajo habría que testear el funcionamiento.

Comentarios destacables:

“En basquet adaptado, por ejemplo, es muy distinto cuando golpeas el aro con un palo y cuando está constantemente emitiendo un sonido. La experiencia con sonidos suele generar más confusión.”

“El sonido es tan agudo. Te dan ganas de tirarle la pelota al dispositivo para que deje de sonar”.

“En deporte adaptado de rugby, usan una tobillera y la cancha tiene una línea con sensores que identifican el movimiento fuera de la cancha.”

“Esto tiene muchísimo alcance y potencial. Necesitamos mejorar lo que tenemos hasta ahora, no podemos seguir haciendo tapping.”

“El nadador tiene margen de mejora o incluso también de disminución en sus tiempos.”

Recomendaciones:

- Quieren un estímulo que sea simple y conciso. Mientras más simple, mejor.
- No creen conveniente la vibración para el agua
- No quieren un sonido abierto. Propusieron mucho el uso de auriculares. Lo que les gusta de los auriculares es que son algo personal.
- Les interesa que el entrenador les pueda dar indicaciones en cuanto al entrenamiento.
- Quieren un dispositivo preconfigurado con la distancia.

17.1.2 Nadadores

Usuario 1

- Datos personales:
 - 18 años.
 - Último año del secundario.
 - Le gusta despejarse con el deporte.
- Discapacidad visual: Ceguera total.
- Vínculo con la natación:
 - Comenzó a los 10 años
 - Se identifica con la natación.
 - Le gusta que sea un deporte activo.
 - No compite.
 - Aprendiendo pecho.
 - No le gusta el estilo espalda (le entra agua a los oídos).
- Frecuencia de práctica: 2 días a la semana.
- Lugar/es de práctica: Estadio Kempes.
- Andarivel Usado/Preferido: No tiene andarivel preferido.
- Complicaciones a la hora de nadar: Respiración y nado combinados. Agua en el oído.
- Entrenamiento solo o acompañado: Empezó solo. Actualmente entrenador le avisa todo el tiempo
- Aviso del entrenador: Silbato.
- Otras formas de guia: Va sintiendo el andarivel con la mano, Con una mano al frente.
- Expectativa del dispositivo: Le brindaría confianza, seguridad y velocidad. Mejoraría la calidad del nado. Nadar libre teniendo algo seguro.
- Preferencia en cuanto al diseño: No está en desacuerdo con algo fijo en pileta, pero prefiere algo suyo.
- Horario de entrenamiento: A la tarde.
- Ayuda tecnológica: En el día a día su celular. Solo silbato.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: No ha probado previamente.
- Ideas o requerimientos solicitados: Dispositivo manejado por la persona. Auricular tipo tapón con sonido o vibración. Aviso constante: cascada / burbujas. Auricular tipo tapón doble con walkie talkie con sonido/vibración. Sonidos distintos para diferentes obstáculos. Que vaya sonando/vibrando y frene.
- Otras opiniones: Cuida mucho sus oídos al nadar.

Usuario 2

- Datos personales:

- 28 años
 - Otros deportes: equinoterapia (con chicos especiales), fútbol y básquet.
 - Vive en Carlos Paz.
 - No trabaja, estudia cursos dentro del deporte.
 - Tiene problemas de movilidad con las manos.
- Discapacidad visual: Problema visual por convulsión. Vista en tubo hacia delante (30% de una persona normal). No ve para arriba, abajo ni costados.
- Vínculo con la natación:
 - Comenzó a los 6 años en Mendoza.
 - Compite.
 - En competencia usa gafas para nivelar.
- Frecuencia de práctica: 2 días a la semana (miércoles – viernes).
- Lugar/es de práctica: Estadio Kempes.
- Andarivel Usado/Preferido: Prefiere evitar los de la pared por choque.
- Complicaciones a la hora de nadar: En estilo espalda le complica no saber la distancia hacia atrás (no saber cuánto cuerpo le falta para llegar). Normalmente se golpea con la pared del costado. Tiene varios choques cuando nadan varios en un andarivel.
- Entrenamiento solo o acompañado: Con entrenador.
- Aviso del entrenador: Silbido y grito.
- Otras formas de guía: Mide piletas con brazadas.
- Expectativa del dispositivo: Le brindaría confianza, seguridad e independencia.
- Preferencia en cuanto al diseño: Prefiere algo suyo y que lo tenga en el cuerpo, más personal.
- Horario de entrenamiento: Tarde (16 -17 hs.). Último grupo – poca gente.
- Ayuda tecnológica: En el día a día su celular. No utiliza.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: No ha probado previamente.
- Ideas o requerimientos solicitados: Aviso de desvío hacia los costados. Vibración a x distancia. Cuentavueltas. Profundidad pileta.
- Otras opiniones: Burbujas por ahí no lo siente. No le molestaría llevarlo en la cabeza si es algo fino/chico. El sonido quizás no se escucha debajo del agua. En competencia no pueden usar nada en oídos.

Usuario 3

- Datos personales:
 - 20 años.
 - Juega en la selección de golbol.
 - Estudia periodismo deportivo.
- Discapacidad visual: Disminuido visual. Ve con un solo ojo (derecho). Perdió la visión en el ojo izquierdo debido a un accidente con un palo. Vista central en el ojo derecho. Vista en tubo como con un lente sucio (parchada).
- Vínculo con la natación:
 - No practica natación y su vínculo con el deporte es débil.
 - Ha realizado otros deportes.
- Frecuencia de práctica: No corresponde.
- Lugar/es de práctica: No corresponde.
- Andarivel Usado/Preferido: No corresponde.
- Complicaciones a la hora de nadar: No corresponde.
- Entrenamiento solo o acompañado: No corresponde.
- Aviso del entrenador: No corresponde.

- Otras formas de guia: No corresponde.
- Expectativa del dispositivo: No corresponde.
- Preferencia en cuanto al diseño: No corresponde.
- Horario de entrenamiento: No corresponde.
- Ayuda tecnológica: En el día a día, su celular. En golbol utilizan los balones sonoros.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: No ha probado previamente.
- Ideas o requerimientos solicitados: Pensaba en auriculares tipo in ear.
- Otras opiniones: No dijo.

Usuario 4

- Datos personales:
- No dió edad.
- Comenzó en el golbol con los chicos en 2020/2021.
- Forma parte de la selección juvenil de golbol.
- Estudia Psicología.
- Discapacidad visual: No se proporcionaron detalles sobre su discapacidad visual.
- Vínculo con la natación:
- No ejerció natación como deporte adaptado sino como convencional, en la escuela de verano.
- Frecuencia de práctica: No practica como deporte adaptado, a veces va por hobby a la pileta.
- Lugar/es de práctica: No especificó.
- Andarivel Usado/Preferido: Utiliza los andariveles del medio.
- Complicaciones a la hora de nadar: Al comienzo no podía calcular la distancia que debía nadar, le dificulta mucho enfocarse en la técnica y en la distancia al mismo tiempo.
- Entrenamiento solo o acompañado: Actualmente no entrena.
- Aviso del entrenador: Actualmente no entrena.
- Otras formas de guia: Actualmente no entrena.
- Expectativa del dispositivo: Le brindaría confianza, seguridad e independencia.
- Preferencia en cuanto al diseño: Algo más personal.
- Horario de entrenamiento: No entrena actualmente.
- Ayuda tecnológica: En el día a día, su celular. No entrena actualmente. En golbol utilizan los balones sonoros.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: No ha probado previamente.
- Ideas o requerimientos solicitados: Los auriculares tipo in ear se pueden salir.
- Otras opiniones: No dijo.

Usuario 5

- Datos personales:
 - 23 años.
 - Es miembro de la Fundación Gaudé.
 - Estudia coaching ontológico en el deporte.
 - Juega en el equipo "Los Mapaches".
- Discapacidad visual: No se proporcionaron detalles sobre su discapacidad visual.
- Vínculo con la natación:
 - Su vínculo con la natación es débil debido a la inseguridad que este deporte le genera, no lo practica nunca.

- A veces va a la pileta, le interesan los deportes acuáticos.
 - Ha practicado otros deportes.
- Frecuencia de práctica: No corresponde.
- Lugar/es de práctica: No corresponde.
- Andarivel Usado/Preferido: No corresponde.
- Complicaciones a la hora de nadar: No corresponde.
- Entrenamiento solo o acompañado: No corresponde.
- Aviso del entrenador: No corresponde.
- Otras formas de guia: No corresponde.
- Expectativa del dispositivo: No corresponde.
- Preferencia en cuanto al diseño: No corresponde.
- Horario de entrenamiento: No corresponde.
- Ayuda tecnológica: En el día a día, su celular. En golbol utilizan los balones sonoros.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: No ha probado previamente.
- Ideas o requerimientos solicitados: No dijo.
- Otras opiniones: No dijo.

Usuario 6

- Datos personales:
 - 19 años.
 - Es de Catamarca.
 - Estudia Psicología (primer año).
 - Juega golbol desde los 12 años.
 - Forma parte del equipo "Los Mapaches".
- Discapacidad visual: No se proporcionaron detalles sobre su discapacidad visual.
- Vínculo con la natación:
 - Se dedica al deporte desde los 5 años.
 - Comenzó la natación a los 7 años y ha practicado también atletismo, acrobacia en telas y golbol.
- Frecuencia de práctica: Actualmente no está yendo a natación, solo golbol.
- Lugar/es de práctica: No dijo.
- Andarivel Usado/Preferido: No dijo.
- Complicaciones a la hora de nadar: Al comienzo no podía calcular la distancia que debía nadar, le dificulta mucho enfocarse en la técnica y en la distancia al mismo tiempo.
- Entrenamiento solo o acompañado: No dijo.
- Aviso del entrenador: No dijo.
- Otras formas de guia: No dijo.
- Expectativa del dispositivo: No dijo.
- Preferencia en cuanto al diseño: No dijo.
- Horario de entrenamiento: No entrena actualmente.
- Ayuda tecnológica: En el día a día, su celular.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: Si ha probado previamente.
- Ideas o requerimientos solicitados: Diseño tipo vincha con bluetooth, que vaya indicando la cantidad de metros restantes hasta llegar a la pared. Su idea es que cada persona tenga sus auriculares propios. Lo ideal sería: Indicar los metros que uno hace y cuando tiene que pegar la vuelta.

- Otras opiniones: No dijo.

Usuario 7

- Datos personales:
 - 18 años.
 - Practica fútbol para ciegos, atletismo, golbol y natación.
 - Es parte de la selección juvenil de golbol.
- Discapacidad visual: Ciego total. Cuando tenía visión practicaba fútbol convencional hasta tener casi 7/8 años. Tuvo problemas de salud y otras cuestiones que llevaron a la ceguera total.
- Vínculo con la natación:
 - Hace deporte desde muy chico, pero no practica mucho natación.
- Frecuencia de práctica: No corresponde.
- Lugar/es de práctica: No corresponde.
- Andarivel Usado/Preferido: No corresponde.
- Complicaciones a la hora de nadar: No corresponde.
- Entrenamiento solo o acompañado: No corresponde.
- Aviso del entrenador: No corresponde.
- Otras formas de guia: No corresponde.
- Expectativa del dispositivo: No corresponde.
- Preferencia en cuanto al diseño: No corresponde.
- Horario de entrenamiento: No corresponde.
- Ayuda tecnológica: En el día a día, su celular.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: No ha probado previamente.
- Ideas o requerimientos solicitados: No dijo.
- Otras opiniones: No dijo.

Usuario 8

- Datos personales:
 - 42 años.
 - Ha estado realizando deportes adaptados durante los últimos 4 años.
 - Trabajó en McDonald's desde los 18 hasta casi los 38 años, hasta que su condición visual lo impidió.
 - Vive con sus padres.
 - Se encuentra muy involucrado en el deporte adaptado, siendo el golbol su favorito.
 - Practica golbol y ciclismo.
- Discapacidad visual: A los 18 años, le diagnosticaron un problema en la retina similar al de Lorena. Tiene un campo visual reducido y ve en tubo, en línea recta.
- Vínculo con la natación:
 - Practica natación de forma recreativa y está comenzando en este deporte.
- Frecuencia de práctica: No dijo.
- Lugar/es de práctica: No dijo.
- Andarivel Usado/Preferido: No dijo.
- Complicaciones a la hora de nadar: No dijo.
- Entrenamiento solo o acompañado: No dijo.
- Aviso del entrenador: No dijo.
- Otras formas de guia: No dijo.

- Expectativa del dispositivo: Le brindaría confianza, seguridad e independencia.
- Preferencia en cuanto al diseño: No tiene preferencia en cuanto a algo propio o de la piletta.
- Horario de entrenamiento: No entrena actualmente.
- Ayuda tecnológica: No entrena actualmente.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: No ha probado previamente.
- Ideas o requerimientos solicitados: No dijo.
- Otras opiniones: No dijo.

Usuario 9

- Datos personales:
 - No dijo edad.
 - Viene de Bell Ville.
 - Ayuda en colonias de verano para niños.
 - Brinda soporte al equipo de golbol.
- Discapacidad visual: Baja visión. Ve en tubo, en línea recta.
- Vínculo con la natación:
 - No practica natación, pero asiste a una escuela de verano donde hay una piscina.
- Frecuencia de práctica: Sólo en escuelas de verano, no deportivo.
- Lugar/es de práctica: Sólo en escuelas de verano, no deportivo.
- Andarivel Usado/Preferido: No corresponde.
- Complicaciones a la hora de nadar: No corresponde.
- Entrenamiento solo o acompañado: No corresponde.
- Aviso del entrenador: No corresponde.
- Otras formas de guia: No corresponde.
- Expectativa del dispositivo: No corresponde.
- Preferencia en cuanto al diseño: No corresponde.
- Horario de entrenamiento: No corresponde.
- Ayuda tecnológica: No utiliza.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: No ha probado previamente.
- Ideas o requerimientos solicitados: No dijo.
- Otras opiniones: No dijo.

Usuario 10

- Datos personales:
 - 29 años.
 - Es abogada.
 - En su equipo hay otros nadadores no videntes de categoría promocional.
- Discapacidad visual: Ciega total.
- Vínculo con la natación:
 - Practica natación de alto rendimiento.
 - Es una competidora paralímpica.
 - Dato: Tiene una velocidad máxima de 100 metros de pecho en 1 minuto y 40 segundos.
 - La ayuda constantemente, es su “cable a tierra” la natación adaptada.
- Frecuencia de práctica: Todos los días.
- Lugar/es de práctica: Estadio Kempes.

- Andarivel Usado/Preferido: Se guía por el andarivel, no utiliza los carriles de los costados con pared. Prefiere el segundo carril en la pileta.
- Complicaciones a la hora de nadar: Clavado cerca del borde, no se realiza con mucha potencia por inseguridad al tirarse. Tiene dificultades al entrenar sola, no puede contar los largos hechos
- Entrenamiento solo o acompañado: Entrena a diario con entrenador y sola.
- Aviso del entrenador: Taper.
- Otras formas de guia: Mide la pileta con brazadas, Va sintiendo el andarivel.
- Expectativa del dispositivo: Le brindaría confianza, seguridad e independencia, podría aumentar su velocidad y tendría mayor autonomía en los entrenamientos. Mejoraría la calidad del nado.
- Preferencia en cuanto al diseño: No tiene preferencia en cuanto a algo propio o de la pileta.
- Horario de entrenamiento: En la tarde.
- Ayuda tecnológica: En la pileta no tiene tecnologías.
- Conocimiento de Productos que apoyen la práctica: Si ha probado previamente. Han ideado algunas metodologías con su entrenadora. Tiene muchos deseos de poder conseguir que este dispositivo funcione.
- Ideas o requerimientos solicitados: Recomendaciones: Tener en cuenta el largo de la brazada de la nadadora, el cierre de las piernas para dar la vuelta, la velocidad a la que va y con eso calcular la distancia a la que debemos dar la señal de aviso. Considerar delays en el dispositivo, no puede tener un aviso tardío. El aviso no debe interferir con la técnica o molestar desde el podio. Ha tenido experiencia con otros dispositivos.
- Necesidad expresada: Quiere que sirva en sus entrenamientos, para no depender tanto de Constanza.
- Otras opiniones: Quiere un dispositivo pequeño, pegado al cuerpo y cómodo para nadar, que no roce andariveles o se salga en clavados.

Interés en el dispositivo

Todos indicaron un alto nivel de interés por el dispositivo.

Interés en seguir participando del proyecto

Todos indicaron un alto nivel de para seguir colaborando con el desarrollo del dispositivo

17.1.3 Colaboradores

Colaboradora 1: Ingeniera eléctrica de la Universidad de la República, Uruguay.
Experiencia en tecnología electrónica en contacto con agua, sumergida.

Explicó lo siguiente respecto del sensor JSN-SR04T:

El funcionamiento físico se realiza mediante un piezoelectrónico que funciona como emisor y receptor.

El sensor no es underwater, como pensábamos, ya que tiene un grado de impermeabilidad al agua IP66 / IP67 aproximadamente. Siendo necesario IP68 para que pueda sumergirse completamente bajo el agua

Ellos tuvieron que mejorar la impermeabilidad del sensor, lo hicieron con silicona y películas de cámaras fotográficas viejas que poseían

Al hacer mediciones de la patita analógica del sensor con osciloscopio, notaron que debajo del agua se introduce ruido y expande el periodo de amortiguamiento del trigger luego de enviar el pulso alto y pasar al bajo.

El problema explicado en el punto anterior lo pudieron resolver colocando una goma-eva por donde se envían y reciben las señales. Esta goma eva actúa como un buffer que permite realizar la amortiguación ya mencionada

Nos comentaron que el pez robótico tuvo limitaciones de tiempo para el trabajo bajo el agua, acotado a 1 hora como máximo. Además nos explicó la metodología que siguieron ellos para poder realizar las pruebas para que el sensor funcione bajo el agua.

Finalmente al contarle nuestros avances con el armado del dispositivo, nos dio pie para decidir utilizarlo al borde de la pileta sin sumergirlo en el agua. En este caso, nos ayudaría a tener las siguientes ventajas:

- No es necesario mejorar su impermeabilidad a IP68.
- Evitamos problemas de detección en el agua al no sumergirlo.
- Utilizamos la velocidad del sonido en el aire como parámetro.

17.2 ANEXO B: Características Técnicas

17.2.1 PIC 16F887

Microcontrolador de 8 bits de la familia PIC de Microchip. Tiene una arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computing) y opera a una frecuencia de reloj de hasta 20 MHz.

Características técnicas

- Memoria: El PIC 16F887 cuenta con una memoria Flash de 14 KB para almacenar el programa, lo que permite una mayor flexibilidad y capacidad de almacenamiento. Además, dispone de 368 bytes de memoria RAM y 256 bytes de memoria EEPROM para almacenamiento de datos.
- Periféricos integrados: Este microcontrolador incorpora una amplia gama de periféricos, incluyendo módulos de comunicación como USART, SPI e I2C, así como módulos de captura/comparación/PWM (CCP) y temporizadores/contadores.
- Puertos de E/S: El PIC 16F887 dispone de un total de 33 pines de E/S, que se pueden configurar individualmente como entradas o salidas según las necesidades del proyecto. Estos pines son altamente flexibles y permiten la conexión con otros dispositivos y componentes externos.
- Convertidores analógico-digital (ADC): Este microcontrolador cuenta con un módulo ADC de 10 bits que permite la conversión de señales analógicas a valores digitales. Esto es especialmente útil para la adquisición de datos provenientes de sensores y otros dispositivos analógicos.
- Compatibilidad: El PIC 16F887 es compatible con el conjunto de instrucciones PIC de Microchip, lo que facilita la programación y el desarrollo de aplicaciones. Además, se puede programar utilizando el software MPLAB IDE, que proporciona un entorno de desarrollo integrado para escribir, compilar y depurar el código.
- Voltaje de operación: El PIC 16F887 puede funcionar con un voltaje de alimentación en el rango de 2.0V a 5.5V, lo que lo hace adecuado para una amplia variedad de aplicaciones y entornos.
- Oscilador interno: Este microcontrolador incluye un oscilador interno de 8 MHz, lo que elimina la necesidad de un cristal externo para generar la señal de reloj.
- PWM mejorado: El módulo CCP (Capture/Compare/PWM) del PIC 16F887 incluye una función de PWM (Pulse Width Modulation) mejorada que facilita la generación de señales PWM precisas y de alta resolución.
- Protección de código: Este microcontrolador ofrece diversas opciones de protección de código, como la posibilidad de bloquear ciertas áreas de la memoria para evitar la lectura o escritura no autorizada.

17.2.2 Arduino UNO

Placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P y desarrollado por Arduino. La placa se encuentra equipada con conjuntos de pines de I/O digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos. Tiene 14 pines digitales, 6 pines analógicos y programables con el Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado) a través de un cable USB tipo B. Puede ser alimentado por el cable USB o por una batería externa de 9 voltios, aunque acepta voltajes entre 7 y 20 voltios.

Características Técnicas:

- Microcontrolador: ATMega328P, funciona a una velocidad de reloj de 16 MHz.
- Alimentación: Puede ser alimentado a través del puerto USB o mediante una fuente de alimentación externa de 7 a 12 voltios. Además, dispone de un regulador de voltaje integrado que permite alimentar otros componentes del circuito con una tensión de 5 voltios. Voltaje de trabajo: 5V. Voltaje de entrada: 7,5 a 12 voltios.
- Comunicación Serial: 1 puerto serie por hardware.
- Memoria: 32 KB Flash (0,5 para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom
- Entradas/Salidas digitales: El Arduino Uno dispone de 14 pines digitales, de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas de señal PWM (Pulse Width Modulation), permitiendo generar señales de diferentes anchos de pulso. Todos los pines digitales pueden ser configurados como entradas o salidas según las necesidades del proyecto.
- Entradas analógicas: Cuenta con 6 pines de entrada analógica, que pueden ser utilizados para medir valores de tensión en un rango de 0 a 5 voltios.
- Compatibilidad: Compatible con una amplia gama de shields, que son placas de expansión diseñadas para agregar funcionalidades adicionales, como comunicación inalámbrica, control de motores, sensores, entre otros.

17.2.3 ESP32

Placa de desarrollo con comunicación inalámbrica Wi-Fi/Bluetooth integrada. Proporciona un procesador integrado de dos núcleos de procesamiento con frecuencias operativas pueden controlarse independientemente entre 80 y 240 Mhz. Los periféricos del procesador facilitan la conexión a una variedad de interfaces externas como:

Características técnicas:

- Microcontrolador: Xtensa dual-core 32-bit LX6 a 240 MHz
- Memoria RAM: 520 KB
- Memoria Flash: 4 MB
- Conectividad: Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE
- Pines de E/S digitales: 26
- Pines de entrada analógica: 12 bits, rango de 0-3.3V
- Interfaces: UART, SPI, I2C, I2S, CAN, PWM
- Periféricos adicionales: ADC, DAC, RTC, Touch sensor, Sensor de temperatura, Sensor de hall, Sensor de ultrasonidos
- Alimentación: Rango de voltaje de 2.2V a 3.6V
- Consumo de energía: Modo de bajo consumo para prolongar la duración de la batería
- Soporte de desarrollo: IDE Arduino, MicroPython, ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework)
- Compatibilidad: Compatible con una amplia gama de bibliotecas y shields para expandir las funcionalidades

Hay variedad de módulos ESP32, nosotros usamos el SP32-WROOM-32D. Funciona hasta 240 MHz. Contiene 4MB de flash y tiene 38 pines dispuestos para minimizar el tamaño. Su uso más común es para la conectividad inalámbrica mediante WiFi o Bluetooth, son de bajo costo y consumo.

17.2.4 Sensor ultrasonido HC-SR04

Sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. De muy pequeño tamaño, el HC-SR04 se destaca por su bajo consumo, sencillez, gran precisión y bajo precio.

Características técnicas:

- Distancia de medición: Rango de medición típico de 2 cm a 450 cm.
- Precisión: Precisión de medición de ± 3 mm.
- Ángulo de detección: Ángulo de detección efectivo de aproximadamente 15°.
- Voltaje de funcionamiento: Puede funcionar con voltajes de 5V.
- Consumo de corriente: Bajo consumo de corriente, generalmente inferior a 15 mA.
- Conexión: Interfaz de comunicación por ultrasonidos utilizando pulsos de sonido.
- Tiempo de respuesta: Tiempo de respuesta rápido, generalmente inferior a 20 ms.
- Frecuencia de trabajo: Trabaja a una frecuencia típica de 40 kHz.
- Salida de datos: Proporciona una señal de salida digital que indica la presencia de un objeto.
- Fácil integración: Puede ser fácilmente conectado a placas Arduino u otros microcontroladores.
- Amplio uso: Adecuado para aplicaciones que requieren detección de distancia, como robots móviles, sistemas de seguridad, sistemas de navegación, entre otros.

17.2.5 Sensor ultrasonido JSN SR04T

Permite medir distancias de entre 25 centímetros a unos 4 metros aproximadamente. Además éste modelo es resistente al agua y lo hace ideal para utilizar en proyectos de exterior que están expuestos a la intemperie. El sensor es de reducido tamaño y puede ser empotrado, además incluye la placa amplificadora para poder utilizarlo con cualquier microcontrolador.

Características técnicas:

- Distancia de medición: Rango de medición típico de 2 cm a 600 cm.
- Voltaje de funcionamiento: Puede funcionar con voltajes de 3.3V o 5V.
- Consumo en reposo: 5mA
- Consumo en funcionamiento: 30mA
- Resolución: 0.5cm
- Ángulo de detección: < 70°
- Temperatura de funcionamiento: -10 a 70°C
- Cable: 2.5m
- Dimensiones: 41 x 28.5 mm
- Peso: 54 gramos
- Conexión: Interfaz de comunicación por ultrasonidos utilizando pulsos de sonido.
- Tiempo de respuesta: Tiempo de respuesta rápido, generalmente inferior a 20 ms.
- Frecuencia de trabajo: Trabaja a una frecuencia típica de 40 kHz.
- Salida de datos: Proporciona una señal de salida digital que indica la presencia de un objeto.
- Protección contra agua: Diseñado con protección contra salpicaduras y resistente al agua.

- Amplio uso: Adecuado para aplicaciones que requieren detección de distancia, como sistemas de control de acceso, sistemas de estacionamiento, sistemas de navegación, entre otros.

17.2.6 Sensor ultrasonido AJ SR04M

Similar al JSN SR04T en cuanto a características y pines de conexión. El diseño de la placa difiere, viene más compacto y sin el cable extensor para empotrar.

Características técnicas:

- Modelo: AJ-SR04M
- Voltaje de Operación: 5 VDC
- Corriente de Trabajo: 30mA
- Rango de Detección: 25 a 450 cm
- Precisión: ± 0.5 cm
- Frecuencia de Emisión Acústica: 40KHz
- Duración Mínima del Pulso de Disparo (nivel TTL): 10 µS.
- Tiempo Mínimo de Espera entre Mediciones: 20 mS.
- Ángulo de Detección: Menor a 50º
- Módulo a Prueba de Agua (Parte Delantera)
- Diámetro Orificio para Panel: 22mm
- Longitud del Sensor: 17mm
- Largo del Cable: 250 cm
- Tamaño Tarjeta Sensor: 41 x 28.5 (33.5 incluido headers) x 19 mm
- Temperatura de trabajo: -10ºC hasta 70ºC

17.2.7 Sonar altímetro y ecosonda PING

El Sonar Altímetro y Ecosonda Ping de Blue Robotics es una ecosonda multipropósito de un solo haz. Se puede utilizar como altímetro para ROV y AUV, para trabajos de batimetría a bordo de un USV, como sonda para evitar obstáculos y para otras aplicaciones de medición de distancias bajo el agua. Ping combina un factor de forma compacto y una clasificación de profundidad de 300 metros con una interfaz de usuario de código abierto y bibliotecas de desarrollo Arduino, C++ y Python para crear una nueva y poderosa herramienta para la robótica marina.

El Ping es una de las formas más simples de sonar submarino. Funciona mediante el uso de un transductor piezoelectrónico para enviar un pulso acústico ultrasónico al agua y luego escucha los ecos que regresan. Con esa información, puede determinar la distancia al eco más fuerte, que suele ser el fondo del océano o un objeto grande. También puede proporcionar la respuesta de eco completa (intensidad del eco frente al tiempo) que se puede trazar como la pantalla de un sonar de sonda de pesca.

El Ping utiliza una frecuencia de transductor de 115 kHz, distinta de las utilizadas en la mayoría de las ecosondas de barcos para evitar interferencias. Tiene un rango de medición de 50 metros (164 pies) y un ancho de haz de medición de 30 grados, perfecto para aplicaciones en un bote oscilante o para evitar obstáculos. Un algoritmo avanzado de seguimiento del fondo se ejecuta en el dispositivo para determinar la distancia al fondo marino, incluso en situaciones complicadas con múltiples ecos.

Características técnicas:

Eléctricas

- Tensión de alimentación máxima: 5,5 voltios

- Tensión de alimentación mínima: 4,5 voltios
- Nivel de voltaje TTL: 3,3 - 5 voltios
- Consumo de corriente típico: 100 miliamperios

Comunicación

- Protocolo de señal: Serial TTL (UART)
- Velocidades de transmisión de firmware disponibles: 115200 bps (predeterminado), 9600 bps
- Protocolo de mensaje: Protocolo de ping
- Subconjuntos de mensajes: Común, ping1d

Cable

- Cable utilizado: CAB-PUR-4-24AWG
- Calibre del conductor: 24 AWG
- Cables: Negro: Tierra | Rojo: Vino | Blanco: Dispositivo Tx | Verde: Dispositivo Rx

Acústica

- Frecuencia: 115kHz
- Ancho de haz: 30 grados
- Alcance mínimo: 0,5 m / 1,6 pies
- Rango útil típico: 50 m / 164 pies
- Alcance máximo absoluto (límite de firmware): 70 m / 230 pies
- Resolución de rango: 0.5% del rango
- Alcance Resolución a 50 m: 25 cm / 9,85 pulgadas
- Alcance Resolución a 2 m: 1 cm / 0,25 pulgadas

Físico

- Clasificación de presión: 300 m / 984 pies
- Rango de temperatura: 0 - 30 °C / 32 - 86 °F
- Peso en el aire (con cable): 133 g
- Peso en agua (con cable): 55 g

Dimensiones

- Longitud del cable: 830 mm / 32,5 pulgadas
- Tamaño del tornillo del soporte de montaje: M5x 0,4 mm

17.2.8 HC-05

Permite establecer conexiones inalámbricas entre microcontroladores mediante la tecnología Bluetooth 2.0. Su interfaz serial TTL facilita la conexión directa a los pines seriales del microcontrolador, y su configuración se realiza a través de comandos AT. El módulo puede operar como Master o Slave, ofreciendo flexibilidad en su aplicación.

Características técnicas:

- Voltaje de Operación: +3.6VDC - 6VDC
- Consumo de Corriente: 50mA
- Interface: Serial TTL
- Protocolo Bluetooth: Bluetooth Specification v2.0+EDR
- Frecuencia: Banda ISM 2.4GHz
- Modulación: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)

- Potencia de Transmisión: ≤4dBm, Clase 2
- Sensibilidad: ≤-84dBm a 0.1% BER
- Velocidad: 1Mbps
- Seguridad: Autenticación y encriptación
- Perfil: Bluetooth serial port
- Temperatura de Trabajo: -20°C a +75°C

17.2.9 HM 10

El módulo Bluetooth HM-10 permite establecer conexiones inalámbricas entre proyectos basados en Arduino y dispositivos como smartphones, celulares o PCs. Cumple con el estándar Bluetooth Low Energy (BLE), ofreciendo una comunicación serial transparente a través de los pines TX y RX sin necesidad de programar el microcontrolador. Sus características técnicas incluyen un voltaje de operación de 3.3V - 5V, corriente de operación de 8.5mA, chip CC2541 de Texas Instruments, un alcance de hasta 100 metros y Bluetooth V4.0 BLE.

Características técnicas:

- Voltaje de Operación: 3.3V - 5V
- Corriente de Operación: 8.5mA
- Corriente en modo sleep: 60uA~1.5mA
- Chip: CC2541 de Texas Instruments
- Alcance: <100 metros
- Baudrate por defecto: 9600
- Bluetooth: V4.0 BLE
- Frecuencia: Banda ISM de 2.4 GHz
- Modulación: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
- Potencia RF: -23dBm, -6dBm, 0dBm, 6dBm (configurable mediante comandos AT)
- Seguridad: Autenticación y encriptación
- Capacidad de enviar y recibir datos sin límite de bytes
- Interfaz: Bluetooth - Puerto serie UART TTL

17.2.10 RF 433

Es un dispositivo de radiofrecuencia que permite establecer una conexión inalámbrica entre dos microcontroladores. Utiliza la frecuencia de 433MHz y consta de un transmisor y un receptor. Es una solución sencilla y práctica para transmitir información de forma inalámbrica en un solo sentido. Su funcionamiento es similar a una comunicación serial entre dos microcontroladores, lo que facilita su integración en diferentes proyectos.

Características técnicas:

Módulo TX:

- Voltaje de Operación: 3.5V~12V
- Entrada de datos: TTL
- Corriente de trabajo: Máximo <= 40mA (12V), mínimo <= 9 mA (3.5V);
- Alcance: 20 metros~200 metros (a mayor voltaje, mayor potencia de transmisión)
- Potencia de transmisión: 10 mW (5V);
- Frecuencia de transmisión: 433MHz
- Tasa de transferencia de datos: 4KB/seg
- Baud Rate recomendado: 2400
- Modulación: ASK/OOK

- Antena (no incluida): Alambre de cobre de 25cm (recomendado)
- Pines de salida: DATA(TX)/VCC/GND

Módulo RX:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Consumo de corriente: 4mA
- Sensibilidad del receptor: -105dB
- Frecuencia de recepción: 433MHz
- Modulación: ASK/OOK
- Principio de funcionamiento: Receptor Super regenerativo
- Antena (no incluida): Alambre de cobre de 25cm~32cm (recomendado en forma de espiral)
- Pines: GND/DATA(RX)/VCC

17.2.11 ESP32-WROOM

Es una solución altamente integrada que incluye el chip ESP32 y sus componentes asociados, como memoria flash, antena y pines de conexión. Este módulo proporciona conectividad WiFi y Bluetooth de doble modo, lo que permite la comunicación inalámbrica con otros dispositivos. Es ampliamente utilizado en proyectos de IoT y desarrollo de aplicaciones gracias a su facilidad de uso y versatilidad. El ESP32 WROOM es una opción popular para prototipos y productos finales debido a su capacidad de bajo consumo de energía y su capacidad de adaptarse a una amplia gama de aplicaciones.

Características técnicas:

- Placa: ESP32 DEVKIT V1 (Espressif)
- SOM (System on module): ESP-WROOM-32 (Espressif)
- SoC (System on chip): ESP32 (ESP32-D0WDQ6)
- Procesador: Tensilica Xtensa Dual-Core 32-bit LX6.
- Frecuencia del reloj: 160 a 240 Mhz.
- Desempeño: Hasta 600 DMIPS
- Memoria:
 - 448 KByte ROM
 - 520 KByte SRAM
 - 18 KByte SRAM in RTC (Real Time Clock)
 - QSPI Flash/SRAM, 4 MBytes
- Número total de pines GPIO: 25
- WiFi con antena integrada: estándar 802.11 b/g/n. Velocidad de 150.0 Mbps
- Bluetooth: BLE (Bluetooth Low Energy) y Bluetooth Classic
- Interfaz USB-Serial CP2102 on board.
- Modo de funcionamiento Low Power.
- Peripheral Input/Output (25 pines GPIO)
- ADCs (Convertidores Analógico Digital) de 12 bits
- DACs (Convertidores Digital Analógico) de 8 bits
- I²C (Inter-Integrated Circuit)
- UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
- SPI (Serial Peripheral Interface)
- I²S (Integrated Interchip Sound)
- RMII (Reduced Media-Independent Interface)
- PWM (Pulse-Width Modulation).
- Regulador de 3.3 volts on board.
- Voltaje de Alimentación (USB): 5V DC

- Niveles de voltaje de entradas/salidas: 3.3v CD
- Dimensiones: 51.5 mm x 28.3 mm x 12 mm
- Distancia entre pines: estándar 2.54 mm
- Distancia entre ambas filas de pines: 26.0 mm
- Número total de pines: 30

17.2.12 Módulo buzzer

El módulo KY-012 Active Buzzer consta de un zumbador piezoeléctrico activo, que genera un sonido de aproximadamente 2,5 kHz cuando la señal es alta. Este buzzer se utiliza comúnmente para generar alarmas sonoras en tarjetas electrónicas, computadoras, multímetros, en las series de arbolitos de navidad, etc).

Características técnicas:

- Voltaje de funcionamiento 3.5V ~ 5.5V
- Corriente máxima 30mA / 5VDC
- Frecuencia de resonancia 2500Hz ± 300Hz
- Salida de sonido mínima 85Db @ 10cm
- Temperatura de trabajo -20 ° C ~ 70 ° C [-4 ° F ~ 158 ° F]
- Temperatura de almacenamiento -30 ° C ~ 105 ° C [-22 ° F ~ 221 ° F]
- Dimensiones 18.5mm x 15mm [0.728in x 0.591in]

Conexión con la placa Arduino:

- KY-012 ----- Arduino
- S ----- Pin 8
- (-)----- GND

17.2.13 Módulo motor vibrador

Características técnicas:

- Voltaje nominal: 5.0VDC
- Voltaje de funcionamiento: 3,0-5.3VDC
- Velocidad nominal: 9000 RPM
- Corriente nominal: hasta 60 mA
- Corriente de arranque: hasta 90 mA
- Voltaje de arranque: DC3.7V
- Resistencia de aislamiento: 10 MOhms
- Compatibilidad: Compatible con tarjetas de control como Arduino, Raspberry, etc.

17.3 ANEXO C: Extracción de dirección MAC del ESP 32

El proceso para extraer la dirección MAC de un ESP32 desde Arduino se puede realizar siguiendo los siguientes pasos:

Paso 1: Configuración del entorno

Para comenzar, es necesario asegurarse de tener instalado el entorno de Arduino IDE en la computadora. Luego, se debe descargar e instalar la biblioteca "ESP32" en el Arduino IDE, siguiendo las instrucciones proporcionadas por el desarrollador. Además, debemos instalar el driver controlador de los ESP32 disponible en internet.

Paso 2: Creación de un nuevo proyecto

Una vez configurado el entorno, se debe abrir el Arduino IDE y crear un nuevo proyecto.

Paso 3: Importación de bibliotecas necesarias

En el código del proyecto, es necesario importar las bibliotecas necesarias para el correcto funcionamiento. Para ello, se puede incluir la siguiente línea de código al comienzo del programa:

```
include <WiFi.h>
```

Paso 4: Función ".macAddress()"

```
void setup() {  
    Serial.begin(115200);  
    Serial.println();  
    Serial.print("La dirección MAC del dispositivo es: ");  
    Serial.print(WiFi.macAddress());  
}  
  
void loop(){  
}
```

Paso 5: Extracción de la dirección MAC

Una vez cargado el código en el ESP32, se debe abrir el monitor serial en el Arduino IDE. En este punto, se podrá observar la dirección MAC del ESP32, que se mostrará en el monitor serial.

Siguiendo estos pasos, es posible extraer la dirección MAC de un ESP32 desde Arduino. Es importante asegurarse de tener correctamente conectado el hardware y las bibliotecas necesarias instaladas para garantizar un funcionamiento adecuado del proceso.

17.4 ANEXO D: Armado de dataset personalizado con etiquetado (labelImg)

En el marco del proyecto de investigación, nos propusimos analizar la interacción de los nadadores con su entorno acuático en diferentes piletas de natación. En este anexo, se presenta una descripción detallada de las actividades llevadas a cabo y los resultados obtenidos.

17.4.1 Objetivo

El objetivo principal del proyecto fue obtener datos visuales que permitieran estudiar la interacción de los nadadores con los elementos presentes en las piletas de natación, como los andariveles y las paredes.

17.4.2 Piletas Participantes

Se contacto a las siguientes piletas de natación, quienes permitieron realizar visitas y grabar videos en sus instalaciones:

- Bucor (Córdoba)
- Best Club (Córdoba)
- Estadio Kempes (Córdoba)
- Gimnasia y Tiro (Salta)

17.4.3 Metodología

17.4.3.1 Visitas y Grabaciones

Se realizaron visitas a cada una de las piletas participantes y se llevó a cabo la grabación de videos en diferentes momentos y condiciones de iluminación. Durante las grabaciones, se puso foco en capturar los andariveles centrales y una pared dentro del encuadre de la imagen.

17.4.3.2 Procesamiento de los videos

Posteriormente, se procesaron los videos obtenidos utilizando técnicas de procesamiento de imágenes. Se extrajeron los frames de los videos, generando así un conjunto de más de 3000 imágenes.

17.4.3.3 Etiquetado de Imágenes

Se utilizó el software "LabelImg" para etiquetar las imágenes extraídas. Se aplicaron las siguientes etiquetas:

- "Nadador": Para identificar a los nadadores presentes en la imagen.
- "Pared": Para marcar la estructura de la piscina en la imagen.
- "Andarivel": Para delimitar los carriles centrales en la imagen.

17.4.4 Resultados

El análisis de las imágenes etiquetadas proporcionó información valiosa sobre la interacción de los nadadores con su entorno acuático. Se pudo observar y estudiar la posición de los nadadores en relación con los andariveles y la pared, así como analizar sus movimientos y patrones de nado.

Mediante este proyecto, se logró obtener datos visuales significativos que permitieron analizar la interacción de los nadadores con su entorno acuático en las piletas de natación participantes. La colaboración de las piletas GyT, Bucor, Best Club y el Estadio Kempes fue

fundamental para el éxito de este proyecto, y agradecemos su disposición y apoyo en la obtención de los datos.

17.5 ANEXO E: Algoritmo de detección YOLO. Instalación y modificaciones para un entrenamiento con dataset personalizado.

Paso 1: Instalación de Anaconda Prompt

Para la instalación del algoritmo se necesitan de los comandos conda proporcionados por la ventana de comandos Anaconda Prompt. Para ello se accedió a la página web oficial para instalar el software.

Paso 2: Creación y activación de un ambiente virtual

Primero se abrió la ventana de comando Anaconda Prompt. y se insertó el siguiente comando para crear el entorno virtual.

```
conda create -n yolov7:custom python=3.9
```

Esto crea un entorno virtual llamado “yolov7:custom” con python versión 3.9 instalado en el mismo. Luego se accedió a este espacio de memoria virtual creado con el siguiente comando:

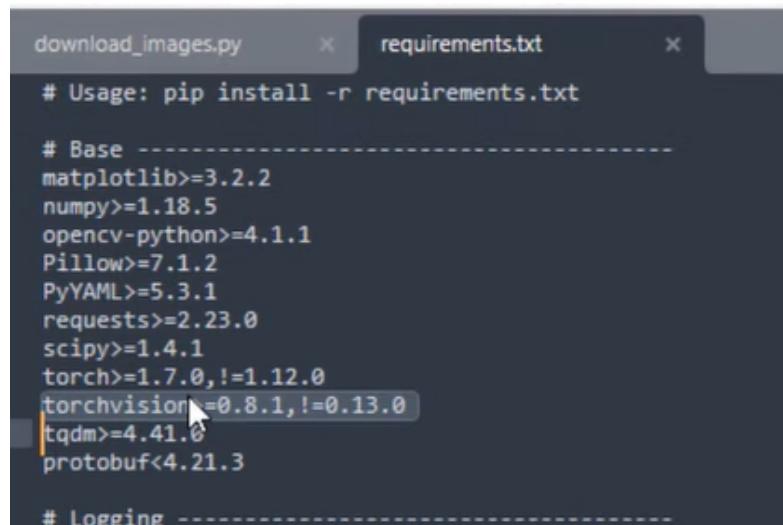
```
conda activate yolov7:custom
```

Luego se cambió de la memoria “base” de la computadora a la memoria virtual “yolov7:custom”.

Paso 3: Descargar YOLOv7 de la web oficial y modificación de su contenido

Se descargó el repositorio en formato “.zip” de la página web oficial: <https://github.com/WongKinYiu/yolov7>.

Luego se lo extrajo en la carpeta que se deseada. Dentro se encuentra gran variedad de archivos, se abrió “requirements.txt”. En este archivo se cambiaron algunas de las versiones de las librerías que se necesitan para el entrenamiento y utilización de YOLOv7 personalizado. Interesa eliminar las dos líneas que indican versiones de las librerías de torch y torchvision, respectivamente.



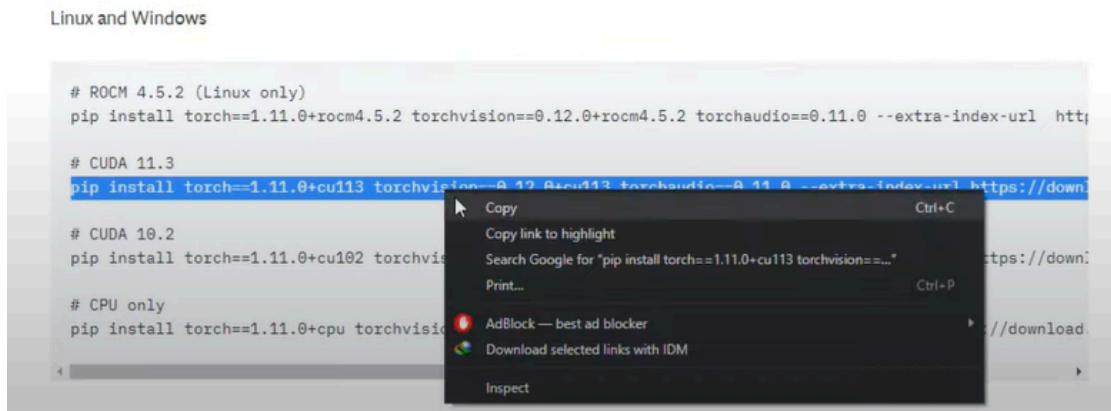
```
download_images.py      requirements.txt
# Usage: pip install -r requirements.txt

# Base -----
matplotlib>=3.2.2
numpy>=1.18.5
opencv-python>=4.1.1
Pillow>=7.1.2
PyYAML>=5.3.1
requests>=2.23.0
scipy>=1.4.1
torch>=1.7.0,!=1.12.0
torchvision>=0.8.1,!=0.13.0
tqdm>=4.41.0
protobuf<4.21.3

# Logging -----
```

Configuración de librerías torch y torchvision.

Para encontrar la versión adecuada de pytorch se accedió a la página oficial del framework: <https://pytorch.org/get-started/locally/>. Para instalar un pytorch con soporte de CUDA para un entrenamiento más rápido con placa gráfica en la computadora. Se accedio a las versiones anteriores de PyTorch y se busco la siguiente ventana:



Configuración de librerías torch y torchvision.

Luego se creó en la misma dirección donde se encuentra “requirements.txt”, otro archivo llamado “requirements_gpu.txt” donde se escribe lo siguiente:

```
# For Torch GPU
-i https://download.pytorch.org/whl/cu113
torch==1.11.0+cu113
torchvision==0.12.0+cu113
```

Configuración de librerías torch y torchvision.

Paso 4: Instalación de librerías necesarias

Dentro del entorno virtual creado y situados sobre la carpeta que contiene a los archivos “requirements.txt” y “requirements_gpu.txt” se ejecutó el siguiente comando:

```
pip install -r requirements.txt
```

Luego de terminado se ejecutó:

```
pip install -r requirements_gpu.txt
```

Con estas dos líneas se instalaron las librerías necesarias para entrenar con gpu y también se corrió el algoritmo de detección.

Paso 5: División de las imágenes y labels del dataset personalizado

17.6 ANEXO F: Código de detección YOLOv 7

El siguiente código es el oficial de la versión de YOLO v7 descargable del link de github:

<https://github.com/WongKinYiu/yolov7>

Se procede a explicar las partes relevantes para un conocimiento general del código. Luego se especifica la adaptación realizada para el objetivo del proyecto integrador.

17.6.1 Librerías

Carga de librerías:

```

1   import argparse
2   import time
3   from pathlib import Path
4
5   import cv2
6   import torch
7   import torch.backends.cudnn as cudnn
8   from numpy import random
9
10  from models.experimental import attempt_load
11  from utils.datasets import LoadStreams, LoadImages
12  from utils.general import check_img_size, check_requirements, check_imshow, non_max_suppression, apply_classifier, \
13      scale_coords, xyxy2xywh, strip_optimizer, set_logging, increment_path
14  from utils.plots import plot_one_box
15  from utils.torch_utils import select_device, load_classifier, time_synchronized, TracedModel
16

```

17.6.2 Definición de función DETECT

El siguiente código es la función principal del código que se encarga de la detección de objetos en tiempo real.

```

18 def detect(save_img=False):
19     source, weights, view_img, save_txt, imgsz, trace = opt.source, opt.weights, opt.view_img, opt.save_txt, opt.img_size, not opt.no_trace
20     save_img = not opt.nosave and not source.endswith('.txt') # save inference images
21     webcam = source.isnumeric() or source.endswith('.txt') or source.lower().startswith(
22         ('rtsp://', 'rtmp://', 'http://', 'https://'))
23
24     # Directories
25     save_dir = Path(increment_path(Path(opt.project) / opt.name, exist_ok=opt.exist_ok)) # increment run
26     (save_dir / 'labels' if save_txt else save_dir).mkdir(parents=True, exist_ok=True) # make dir
27
28     # Initialize
29     set_logging()
30     device = select_device(opt.device)
31     half = device.type != 'cpu' # half precision only supported on CUDA
32
33     # Load model
34     model = attempt_load(weights, map_location=device) # load FP32 model
35     stride = int(model.stride.max()) # model stride
36     imgsz = check_img_size(imgsz, s=stride) # check img_size
37
38     if trace:
39         model = TracedModel(model, device, opt.img_size)
40
41     if half:
42         model.half() # to FP16

```

```
44     # Second-stage classifier
45     classify = False
46     if classify:
47         modelc = load_classifier(name='resnet101', n=2) # initialize
48         modelc.load_state_dict(torch.load('weights/resnet101.pt', map_location=device)['model']).to(device).eval()
49
50     # Set Dataloader
51     vid_path, vid_writer = None, None
52     if webcam:
53         view_img = check_imshow()
54         cudnn.benchmark = True # set True to speed up constant image size inference
55         dataset = LoadStreams(source, img_size=imgsz, stride=stride)
56     else:
57         dataset = LoadImages(source, img_size=imgsz, stride=stride)
58
59     # Get names and colors
60     names = model.module.names if hasattr(model, 'module') else model.names
61     colors = [[random.randint(0, 255) for _ in range(3)] for _ in names]
62
63     # Run inference
64     if device.type != 'cpu':
65         model(torch.zeros(1, 3, imgsz, imgsz).to(device).type_as(next(model.parameters()))).eval() # run once
66         old_img_w = old_img_h = imgsz
67         old_img_b = 1
68
69         t0 = time.time()
70         for path, img, im0s, vid_cap in dataset:
71             img = torch.from_numpy(img).to(device)
72             img = img.half() if half else img.float() # uint8 to fp16/32
73             img /= 255.0 # 0 - 255 to 0.0 - 1.0
74             if img.ndimension() == 3:
75                 img = img.unsqueeze(0)
76
77             # Warmup
78             if device.type != 'cpu' and (old_img_b != img.shape[0] or old_img_h != img.shape[2] or old_img_w != img.shape[3]):
79                 old_img_b = img.shape[0]
80                 old_img_h = img.shape[2]
81                 old_img_w = img.shape[3]
82                 for i in range(3):
83                     model(img, augment=opt.augment)[0]
84
85             # Inference
86             t1 = time_synchronized()
87             with torch.no_grad(): # Calculating gradients would cause a GPU memory leak
88                 pred = model(img, augment=opt.augment)[0]
89             t2 = time_synchronized()
90
91             # Apply NMS
92             pred = non_max_suppression(pred, opt.conf_thres, opt.iou_thres, classes=opt.classes, agnostic=opt.agnostic_nms)
93             t3 = time_synchronized()
94
```

```

95     # Apply Classifier
96     if classify:
97         pred = apply_classifier(pred, modelc, img, im0s)
98
99     # Process detections
100    for i, det in enumerate(pred): # detections per image
101        if webcam: # batch_size >= 1
102            p, s, im0, frame = path[i], '%g: %i, im0s[i].copy(), dataset.count
103        else:
104            p, s, im0, frame = path, '', im0s, getattr(dataset, 'frame', 0)
105
106        p = Path(p) # to Path
107        save_path = str(save_dir / p.name) # img.jpg
108        txt_path = str(save_dir / 'labels' / p.stem) + ('' if dataset.mode == 'image' else f'_{frame}') # img.txt
109        gn = torch.tensor(im0.shape)[[1, 0, 1, 0]] # normalization gain whwh
110        if len(det):
111            # Rescale boxes from img_size to im0 size
112            det[:, :4] = scale_coords(img.shape[2:], det[:, :4], im0.shape).round()
113
114            # Print results
115            for c in det[:, -1].unique():
116                n = (det[:, -1] == c).sum() # detections per class
117                s += f'{n} {names[int(c)]}' * (n > 1), " # add to string
118
119            # Write results
120            for *xyxy, conf, cls in reversed(det):
121                if save_txt: # Write to file
122                    xywh = (xyxy2xywh(torch.tensor(xyxy).view(1, 4)) / gn).view(-1).tolist() # normalized xywh
123                    line = (cls, *xywh, conf) if opt.save_conf else (cls, *xywh) # label format
124                    with open(txt_path + '.txt', 'a') as f:
125                        f.write((f'{line}').rstrip() % line + '\n')
126
127                if save_img or view_img: # Add bbox to image
128                    label = f'{names[int(cls)]} {conf:.2f}'
129                    plot_one_box(xyxy, im0, label=label, color=colors[int(cls)], line_thickness=1)
130
131            # Print time (inference + NMS)
132            print(f'{s}Done. ({((1E3 * (t2 - t1)):.1f})ms) Inference, ({((1E3 * (t3 - t2)):.1f})ms) NMS')
133
134            # Stream results
135            if view_img:
136                cv2.imshow(str(p), im0)
137                cv2.waitKey(1) # 1 millisecond
138

```

```

139     # Save results (image with detections)
140     if save_img:
141         if dataset.mode == 'image':
142             cv2.imwrite(save_path, im0)
143             print(f" The image with the result is saved in: {save_path}")
144         else: # 'video' or 'stream'
145             if vid_path != save_path: # new video
146                 vid_path = save_path
147                 if isinstance(vid_writer, cv2.VideoWriter):
148                     vid_writer.release() # release previous video writer
149                 if vid_cap: # video
150                     fps = vid_cap.get(cv2.CAP_PROP_FPS)
151                     w = int(vid_cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH))
152                     h = int(vid_cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT))
153                 else: # stream
154                     fps, w, h = 30, im0.shape[1], im0.shape[0]
155                     save_path += '.mp4'
156                 vid_writer = cv2.VideoWriter(save_path, cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v'), fps, (w, h))
157                 vid_writer.write(im0)
158
159     if save_txt or save_img:
160         s = f"\n{len(list(save_dir.glob('labels/*.txt')))} labels saved to {save_dir / 'labels'}" if save_txt else ''
161         #print(f"Results saved to {save_dir}{s}")
162
163     print(f'Done. ({time.time() - t0:.3f}s)')
164

```

17.6.3 Ejecución del programa PROMPTS

```

165
166     if __name__ == '__main__':
167         parser = argparse.ArgumentParser()
168         parser.add_argument('--weights', nargs='+', type=str, default='yolov7.pt', help='model.pt path(s)')
169         parser.add_argument('--source', type=str, default='inference/images', help='source') # file/folder, 0 for webcam
170         parser.add_argument('--img-size', type=int, default=640, help='inference size (pixels)')
171         parser.add_argument('--conf-thres', type=float, default=0.25, help='object confidence threshold')
172         parser.add_argument('--iou-thres', type=float, default=0.45, help='IOU threshold for NMS')
173         parser.add_argument('--device', default='', help='cuda device, i.e. 0 or 0,1,2,3 or cpu')
174         parser.add_argument('--view-img', action='store_true', help='display results')
175         parser.add_argument('--save-txt', action='store_true', help='save results to *.txt')
176         parser.add_argument('--save-conf', action='store_true', help='save confidences in --save-txt labels')
177         parser.add_argument('--nosave', action='store_true', help='do not save images/videos')
178         parser.add_argument('--classes', nargs='+', type=int, help='filter by class: --class 0, or --class 0 2 3')
179         parser.add_argument('--agnostic-nms', action='store_true', help='class-agnostic NMS')
180         parser.add_argument('--augment', action='store_true', help='augmented inference')

```

```

181     parser.add_argument('--update', action='store_true', help='update all models')
182     parser.add_argument('--project', default='runs/detect', help='save results to project/name')
183     parser.add_argument('--name', default='exp', help='save results to project/name')
184     parser.add_argument('--exist-ok', action='store_true', help='existing project/name ok, do not increment')
185     parser.add_argument('--no-trace', action='store_true', help='don`t trace model')
186     opt = parser.parse_args()
187     print(opt)
188     #check_requirements(exclude=('pycocotools', 'thop'))
189
190     with torch.no_grad():
191         if opt.update: # update all models (to fix SourceChangeWarning)
192             for opt.weights in ['yolov7.pt']:
193                 detect()
194                 strip_optimizer(opt.weights)
195         else:
196             detect()

```

17.6.4 Modificaciones realizadas en el código

17.6.4.1 Vectores de detección

En la línea 137 se realizaron modificaciones al código. Se lo posiciona en esta línea debidos a que en las etapas anteriores se procesa la imagen para devolvernos el frame con sus vectores de detección correspondientes.

Se genera un vector por cada detección, con los valores normalizados según el ancho y alto del frame. Cada vector está conformado de la siguiente forma:

```
data_vector = [ label x_center y_center width height ]
```

“Label” corresponde a la clase asignada por el detector, “x_center” e “y_center” son los centros del bounding box que encierra al objeto encontrado, y por último “width” y “height” son el ancho y el alto de dicho bounding box. Todos los valores de posición y tamaño del vector se encuentran normalizados respecto de las medidas del bounding box, es el formato devuelto por el algoritmo YOLO.

```

134
135     # Print time (inference + NMS)
136     print(f'{s}Done. ({(1E3 * (t2 - t1)):.1f}ms) Inference, ({(1E3 * (t3 - t2)):.1f}ms) NMS')
137
138     #Set the port for serial communication
139     ser = serial.Serial('COM3',115200,timeout=1)
140     time.sleep(2)
141
142     #Experiment for the Integrating Project's device

```

```
141
142     #Experiment for the Integrating Project's device
143     nadador_ejey=0
144     pared_ejey=0
145     for i in range(len(pred[0])):
146         var=pred[0][i,5:6]
147         if var == 0:
148             nadador_ejey=int(pred[0][i,1])
149             print('Coordenadas en eje y de "Nadador": ',nadador_ejey)
150         elif var == 2:
151             pared_ejey=int(pred[0][i,1])
152             print('Coordenadas en eje y de "Pared": ',pared_ejey)
153
154         if ((nadador_ejey!=0) & (pared_ejey!=0)):
155             distancia=abs(nadador_ejey-pared_ejey)
156             print('La distancia Nadador-Pared es: ',distancia.real)
157             umbral_calibrable = 400;
158
159             if distancia.real<umbral_calibrable:
160                 ser.write(b'A')
161                 time.sleep(0.1)
162                 print(b'A')
163
164             elif distancia.real>umbral_calibrable:
165                 ser.write(b'B')
166                 time.sleep(0.1)
167                 print(b'B')
168             ser.close()
169
170         # Stream results
171         if view_img:
```

17.6.4.2 Cálculo de distancia

Línea 143-144: Se setearon labels a 0.

Línea 146: Se codificó para leer el vector de predicción.

Se extrajeron las coordenadas en el “eje y” de las detecciones correspondientes con “nadador” y “pared” para un cálculo de distancia en píxeles sobre los frames obtenidos en cada imagen procesada. Se estableció un umbral calibrable para poder diferenciar cuando el nadador se encuentra cerca y lejos de la pared. Al superar dicho umbral se ejecuta el envío de un carácter “A” a la placa ESP32 programada en Arduino por comunicación serial. Mientras no se detectan simultáneamente “nadador” y “pared”, y el cálculo no supere dicho umbral se envía el carácter “B”.

17.6.4.3 Comunicación Python-Arduino

Se importó la librería “serial” que permite comunicar al código escrito en python con los puertos del computador. En la línea 139 se especificó el puerto por el cual se va a enviar la información desde python, la velocidad de transmisión y se establece una tiempo de lectura del dato límite. En la siguiente línea, pausamos 2 mseg el código para poder concretar una comunicación correcta con el puerto.

En las líneas 160,161,165 y 166: Se codificó para enviar el carácter correspondiente a la detección realizada y se espera un tiempo de 0.1 mseg, dándole tiempo para finalizar el envío, debido a que debido a que este envió al puerto se realiza de forma asincrónica.