

**DESARROLLO ROBOT RECOLECTOR DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SIN OLEAJE PARA DISMINUIR LA  
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

**DIXON ROMARIO JAIMES CAPACHO  
KLEYDERM ANDRÉS SARMIENTO COGOLLO**

**UNIVERSIDAD DE AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA-ATLÁNTICO  
2023**

**DESARROLLO DE PROTOTIPO MECATRÓNICO- ROBOT RECOLECTOR DE  
RESIDUOS SÓLIDOS EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SIN OLEAJE PARA  
DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

**DIXON ROMARIO JAIMES CAPACHO  
KLEYDERM ANDRÉS SARMIENTO COGOLLO**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**ASESORES DISCIPLINARES:  
ING. JEAN PIERRE COLL VELASQUEZ, MSc.  
ING. CARLOS GABRIEL DIAZ SAENZ, MSc.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA**

**2023**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

## **DEDICATORIA**

Nosotros Dixon Romario Jaimes Capacho y Kleyderm Andres Sarmiento Cogollo dedicamos este proyecto principalmente a Dios, a nuestra sociedad, a nuestros seres queridos y a nuestra alma mater Universidad Autónoma del Caribe.

## **AGRADECIMIENTOS**

Ofrecemos inmensa gratitud a Dios por permitirnos realizar este proyecto, por brindarnos las herramientas físicas e intelectuales para llevarlo a cabo; a nuestras familias y allegados que estuvieron directa o indirectamente involucrados en la elaboración de nuestro trabajo de grado. Gracias a la universidad Autónoma del Caribe y a los profesores de los diferentes programas de Ingeniería por su excelente labor en el arte de enseñar y transferirnos la mayor cantidad de conocimiento posible sobre esta gran carrera de pregrado, así mismo dar gracias a nuestros compañeros por su amistad, por todos los gratos momentos y por su ayuda en distintas labores. Finalmente queremos ofrecer nuestra gratitud también por involucrarse de lleno en el desarrollo del proyecto al Ing. Jean Pierre Coll Velásquez en su labor de Asesor, y al Ing. Carlos Gabriel Díaz Sáenz en su labor de Co-asesor.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABLAS .....	8
LISTA DE ECUACIONES.....	8
GLOSARIO.....	9
RESUMEN .....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1 ANTECEDENTES .....	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.4 ALCANCE.....	19
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
3. MARCO DE REFERENCIA .....	21
3.1 ESTADO DEL ARTE.....	21
3.2 MARCO TEÓRICO .....	29
4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	33
4.1. METODOLOGÍA.....	33
4.2. TIPO DE ESTUDIO.....	35
4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO .....	36
5. PRESUPUESTO .....	37
5.1. PRESUPUESTO GENERAL .....	37
5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO. ....	38
5.3. MATERIALES E INSUMOS.....	39
5.4. SALIDAS DE CAMPO.....	40
5.5. EQUIPOS.....	40
6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	41
6.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	41
6.2. DESARROLLO DEL PROTOTIPO.....	41

6.3.	DISEÑO DISPOSITIVO FINAL.....	59
6.4.	MATERIALES .....	60
6.5.	MANUAL DE USUARIO .....	60
	CONCLUSIONES.....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	ANEXOS.....	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. RaspberryPi 4 [17].....	30
Figura 2. Servomotor TowerPro MG-995 [18] .....	31
Figura 3. Motor brushless Turnigy 2826 -2200KV [19].....	32
Figura 4. Baterías Plomo ácido AGM [20] .....	32
Figura 5. Metodología PDIOO [24].....	33
Figura 6 Diseño CAD del prototipo (propia autoría) .....	41
Figura 7. Vista frontal planos del diseño (propia autoría) .....	46
Figura 8. Diagrama de cuerpo libre y flotabilidad del prototipo (propia autoría).....	48
Figura 9. Control y operaciones (propia autoría) .....	49
Figura 10. Schematic del diseño PCB (propia autoría).....	50
Figura 11. Ruteo de pistas PCB (propia autoría).....	50
Figura 12. Partes en fibra de vidrio (propia autoría).....	52
Figura 13. Presentación de motores de propulsión (propia autoría) .....	52
Figura 14. Mecanismos de transmisión en aspas (propia autoría).....	53
Figura 15. Fraccionamiento de la imagen tomada por el robot (propia autoría).....	54
Figura 16. Prueba de seguimiento y ubicación de Objeto en un entorno no controlado (propia autoría) .....	55
Figura 17. Flujo de programación SEABOT (propia autoría) .....	57
Figura 18. Pruebas piloto (propia autoría) .....	58
Figura 19. Bolsas de aire agregadas en la base para mejor flotabilidad (propia autoría) ...	58
Figura 20. Diseño final del dispositivo (propia autoría) .....	59
Figura 21. Prueba de flotabilidad del USV (propia autoría) .....	61

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 cronograma de actividades (propia autoría).....	36
Tabla 2. Presupuesto general (propia autoría).....	37
Tabla 3. Personal científico (propia autoría).....	38
Tabla 4. Personal de apoyo (propia autoría).....	38
Tabla 5. Materiales, insumos y equipos (propia autoría).....	39
Tabla 6. Salidas de campo (propia autoría).....	40
Tabla 7. Equipos (propia autoría).....	40
Tabla 8. Tipo de materiales para uso en carcasa (propia autoría).....	42
Tabla 9. Características del procesador principal [25].....	43
Tabla 10. Características sensor proximidad [26].....	44
Tabla 11. Características servomotor [27].....	45
Tabla 12. Características de motores RF-540 [28].....	45
Tabla 13. Consumos del prototipo (propia autoría).....	46
Tabla 14. Funciones de cada controlador (propia autoría).....	56

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Empuje del agua en función del Volumen sumergido, densidad y gravedad. .47	
Ecuación 2. Desarrollo de principio de pascal para el dimensionamiento del dispositivo ...47	

## GLOSARIO

**AUTOMATIZACIÓN:** Consiste en la ejecución actividades con la menor intervención humana posible, se desarrolla en máquinas o mecanismos que deben lograr cierto grado de autonomía.

**USV:** Unmanned Surface Vehicle (Vehículo de superficie no tripulado)

**ASV:** Autonomous Surface Vehicle (Vehículo autónomo de superficie)

**AMPERAJE (A):** Unidad de la intensidad con la que se mide la corriente eléctrica, indica la cantidad de electrones que pasan por un conductor.

**VOLTAJE (V):** Magnitud física que cuantifica la energía eléctrica, indica la diferencia de tensión que existe entre dos conductores energizados.

**IOT:** Describe una nueva tecnología, el “internet de las cosas”, es aquella tecnología que incorporan los objetos permitiendo intercambiar datos con clientes, servidores y nubes de datos.

**CAD:** Computer Aided Design (Diseño asistido por computador)

**SVA:** Sistema de Visión Artificial – Son métodos automatizados e inteligentes que permiten, procesar y analizar imágenes captadas por sensores que a su vez ejecutan tareas programadas dependiendo del estudio de la imagen.

**PWM:** Pulse Width Modulator – Modulador de ancho de pulsos, es una señal electrónica que consiste en enviar una señal digital (1 o 0) de manera continua realizando cambios de estado con una cierta frecuencia configurable.

**SEÑAL DIGITAL:** Se habla de señal digital en la electrónica y en la programación, trata de un valor que solo puede tener 2 posibles estados 1 o 0 y está ligado a la presencia (1) o a la ausencia de voltaje (0).

**SEÑAL ANÁLOGA:** Se habla de señal Análoga en la electrónica y en la programación, trata de un valor que solo puede variar en un determinado rango, desde un mínimo hasta un máximo y el valor depende de la variable que ese esté midiendo, estos rangos pueden variar en amperaje o en voltaje.

## RESUMEN

El presente trabajo consistió en el desarrollo de un prototipo mecatrónico orientado al cuidado ambiental de los ecosistemas acuáticos sin oleaje, como los lagos cercanos a la ciudad de Barranquilla, lago del cisne, Pto. Colombia Atlántico; con el fin de contribuir de manera eficaz y eficiente con las necesidades existentes en este sector ambiental. El enfoque principal de esta propuesta fue recolectar desechos flotantes como botellas plásticas, envolturas de frituras, y otros contaminantes de tamaño pequeño que se encuentren flotando para este caso en el lago de los cisnes (Puerto Colombia Atlántico), a través de la construcción de un vehículo de superficie no tripulado, que cuenta con herramientas basadas en tecnología como sensores de proximidad, motores de corriente directa que regulan su velocidad, cámara de visión, computador de placa simple o placa de microordenador, placa de desarrollo electrónica, servomotores y en su estructura hecha en poliestireno expandido con fibra de vidrio que le permite la flotabilidad. Se logró obtener un sistema con un 80% de autonomía ya que el operador debe dejarlo dentro del lago y encenderlo, una vez encendido, éste se dispone a navegar de manera aleatoria en búsqueda de los desechos flotantes, los cuales serán detectados por la cámara de visión y recogidos mediante un control de motores según la ubicación y distancia del objeto; se logró la identificación y recolección de objetos flotantes a distancia de hasta 2.5 m, gracias a que el prototipo está equipado con una malla por debajo que permite atrapar los desechos en su interior cuando pasa por encima de ellos. Como conclusión se pretende reemplazar el método tradicional que es implementado en la recolección de desechos flotantes en el lago del cisne, por un sistema automatizado que permite la recolección de desechos en el lago de manera continua y sin logística de personal con chalupas o canoas al lago.

**Palabras claves: Robótica, Prototipo Mecatrónico, Visión Artificial, Residuos sólidos.**

## **ABSTRACT**

This paper deals with the development of a mechatronic prototype oriented to the environmental care of aquatic ecosystems without waves in the municipalities near the city of Barranquilla, to contribute effectively and efficiently with the existing needs in this environmental sector. The main focus of this proposal is to collect floating waste such as plastic bottles, fried food wrappers, and other small-sized contaminants that are floating in the Swan Lake (Atlántico - Colombia), through the construction of a low-cost unmanned surface vehicle that has tools based on technology such as proximity sensors, direct current motors that regulate its speed, vision camera, single board computer or microcomputer board, electronic development board, servomotors and in its structure made of expanded polystyrene with fiberglass that allows it to float. The system is 80% autonomous since the operator must leave it inside the lake and turn it on, once it is turned on it will navigate randomly in search of floating waste, which will be detected by the vision camera and collected by a motor control according to the location and distance of the object, for the collection of the garbage, the prototype has a mesh below that when the robot manages to pass over the waste it will be trapped in the mesh, so it will collect waste by waste until it is full and give notice for collection. In conclusion, it is intended to replace the traditional method that is implemented in the collection of floating waste in the Swan Lake, by an automated system that allows the collection of waste in the lake continuously and without the logistics of personnel with boats or canoes to the lake.

**Keyword:** Robotics, Mechatronic Prototype, Artificial Vision, Solid Waste.

## INTRODUCCIÓN

La naturaleza es entendida como toda materia inerte que se genera durante procesos fisicoquímicos que no tienen intervención humana; un árbol o una planta, son considerados como tal, dado que crecen sin la necesidad de que el humano interceda. En ese sentido, los animales pueden crecer, reproducirse y morir sin depender de la vida humana, eso, es la naturaleza. Sin embargo, el esplendor de la naturaleza se ha visto afectado. El hombre ha intervenido en ella generando daños irreparables; ejemplo de ello, es el estado de diferentes ecosistemas cargados de basura, desechos y de materiales no biodegradables, una realidad que se ha normalizado para la sociedad en general: entornos naturales terminan siendo un vertedero de residuos y desechos.

Ante esta situación, muchos grupos y entidades ambientalistas han decidido unirse en la lucha contra la contaminación ambiental, a través de actividades y campañas para la recolección de los desechos en las ciudades; y, aunque es fácil identificar la contaminación en zonas concurridas o urbanas, es preciso analizar ¿qué pasa con zonas alejadas del diario vivir de la sociedad, aquellas en las que gran cantidad de basura llega de diferentes formas a sus ecosistemas y no son de fácil acceso? Sean terrestres, como bosques y reservas silvestres, o acuáticos, como playas, lagos, ríos, embalses, lagunas, zonas en las que la afluencia de personas es escasa, dificultando el proceso de identificación de contaminación que conduzca a acciones que contrarresten la contaminación que se acumula en estos ambientes.

En vista de dicha situación, el Laboratorio para la Industria y el Medio ambiente (Lima SAS), en el mes de febrero de 2019, encargado por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico, diagnosticó que las aguas del Lago del Cisne, ubicado en el Municipio de Puerto Colombia, Atlántico, no cumplían con las normas sanitarias y ambientales vigentes, por lo que “no debían ser utilizadas para fines agrícolas, pecuarios ni recreativos”, según el documento de la organización citado por el diario

EL HERADO en [1], teniendo en cuenta que se detectó la presencia de metales pesados, materia orgánica, residuos sólidos y el vertimiento de residuos líquidos domésticos e industriales sin tratamiento. El laboratorio también informó que el Lago del Cisne cuenta con altos valores de sólidos suspendidos, un parámetro que puede ser considerado como alta sedimentación debido a que su dinámica y características corresponden a las de un cuerpo de agua léntico, es decir, que es cerrado y se mantiene en el mismo lugar sin que el agua circule.

Con base en el panorama descrito, y con el fin de mejorar a partir de la automatización la recolección de desechos sólidos en el Lago del Cisne, Puerto Colombia, Atlántico, reduciendo entonces la intervención humana, este proyecto propone el diseño y construcción de un mecanismo robótico de navegación superficial no tripulado para la recolección de desechos flotantes: latas de bebidas, botellas plásticas, empaquetaduras de comidas, embaces de Tetrapak, y demás desechos que no superen dimensiones de 10X10 cm, el cual se encargará de recolectar la basura que encuentre dentro de su rango de visión, acercándose a ella y tomándola para almacenarla mientras llena su capacidad para luego descargarla.

Entre las generalidades del sistema mecánico, este cuenta con sensores ultrasónicos para evitar colisiones, cámaras de visión que inspeccionaran el área en busca de desechos que puedan ser recogidos, motores de propulsión, mecanismo de recolección y alimentación recargable. Su diseño y sus materiales están pensados para ambientes con alta humedad, y que, a pesar de que no será sumergible, contará con protección contra salpicaduras.

En ese orden de ideas, la presente propuesta para el desarrollo de un sistema autónomo de navegación superficial guiado por visión artificial que permita la recolección de residuos flotantes en los lagos del Departamento del Atlántico, puntalmente en el Lago del Cisne, Puerto Colombia, parte de intereses académicos de carácter experimental, con énfasis en su aplicación en los ecosistemas descritos y a favor de su beneficio.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El planteamiento de la problemática desprende variedad de situaciones que parten del accionar humano, en este caso, la contaminación de las aguas. Misma que termina siendo una realidad que la sociedad ha normalizado y minorizado. El diario *Ágora* muestra un estudio que analiza los lagos de Europa y destaca que las masas de agua superficiales cercanas a áreas con actividades humanas tienen cuatro veces más micro plásticos que aquellos situados lejos de ellas [2], a pesar de los esfuerzos de diferentes grupos y organizaciones.

Los términos contaminación, reciclaje y reutilización, entre otros tantos relacionados con problemáticas medioambientales, han venido tomando relevancia en las últimas décadas, conceptos que han sido adoptados por diferentes entidades gubernamentales a nivel mundial como pilares para el desarrollo de sus proyectos de gobierno. Los esfuerzos por combatir la contaminación son cada vez mayores; bien sea un parque, una vía pública, el interior de una empresa o un centro comercial, desde las actividades cotidianas del hogar, o en los centros educativos, sin embargo, existe un ecosistema que, por variables como sus grandes dimensiones y su posición en la línea del ciclo natural del agua, limita su oportuno y eficaz control.

El agua ocupa alrededor del 71% del globo terráqueo, es decir, casi tres cuartas partes del total de la Tierra; no obstante, dentro del 29% restante, la acción humana, en especial, aquellas acciones relacionadas con la transformación de los recursos, ha logrado afectar la plenitud del planeta; por ejemplo, en el caso de las aguas, estas se ven afectadas luego de que diferentes tipos de residuos contaminantes, tóxicos y nocivos, son arrojados a cuencas o microcuencas, terminando en cada una de los lagos y lagunas del mundo [3].

La agencia de noticias españolas, EFE, ha demostrado que la contaminación por plásticos y micro plásticos no sólo es una amenaza para los mares, de hecho, algunos lagos y embalses, incluidos varios ubicados en lugares remotos, concentran más residuos de este tipo que los encontrados en las llamadas islas de plástico oceánicas [4].

En Julio del 2023, la revista Nature publicó que la Universidad Milán-Bicocca de Italia realizó un estudio sobre la contaminación generalizada por plásticos en los lagos, donde se analizaron muestras de aguas de 38 lagos y embalses en 23 países de los seis continentes, para que fueran representativos de los diferentes tipos y ubicaciones, y en todos había micro plásticos. La mayor concentración se encontró en el lago de Lugano (Suiza e Italia); Maggiore (Italia) y Tahoe (Estados Unidos), indica a EFE Miguel Matias, del Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC), uno de los firmantes [5].

Lago Tai, el tercero más grande de China, pero el primero en contaminación, sufre los embates de las casi tres mil fabricas que vuelcan sus desechos diariamente en sus aguas. Algunos cálculos estiman que recuperarlo demandaría más de 14 mil millones de dólares, a lo que habría que sumarle las modificaciones a cada una de las fábricas que la utilizan de desecho y el aumento en los costes de producción que tales reformas tendrían [6].

Según los datos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el panorama de la contaminación hídrica en América Latina y el Caribe está dominado por las descargas municipales de origen doméstico e industrial, seguido de las mineras. Ellas constituyen una mezcla muy variada de sustancias y compuestos que representan entre el 90%– 95% de la contaminación que llega indirectamente a lagos y lagunas, por eso se estima que apenas el 2% de las descargas reciben tratamiento.

En cuanto al Lago Del Cisne, a finales del 2022, los habitantes cercanos al parque reportaron el estado de abandono del lugar, esto, a pesar de una gran intervención y los proyectos relacionados con su rescate, resultando una mejora visual al hacer de este un parque recreacional, en el que se disponen de sillas, juegos y una amplia zona verde, según El Heraldó (2022). Sin embargo, a la fecha, el olvido ha retornado, habitantes y comerciantes del sector manifiestan que la iluminación es poca, que hay un aumento en la contaminación de los espacios del parque, y debido a los niveles de brisa que rodean la zona, muchos residuos y basura en general, termina flotando en la superficie del lago, el cual, suele emanar fuertes y desagradables olores, debido a que el Arroyo León desemboca en él [1].

En consonancia, los habitantes y comerciantes de la zona, según [1], aseguran que el deterioro del parque y del lago los afecta en gran manera, debido a que sus ingresos provienen del comercio producido por la afluencia de visitantes y turistas, y si estos no frecuentan el lago, debido a factores como la basura y contaminación en general, sus negocios se ven perjudicados

## **1.1 ANTECEDENTES**

La documentación sobre la contaminación de las aguas es amplia. Una simple búsqueda en la web al digitar frases como “playas sucias”, “contaminación en mares”, “playas contaminadas”, entre otras, arroja resultados que dan cuenta de numerosos documentos referentes a este tema. Por tanto, para el desarrollo de este proyecto fueron consultadas bases de datos para la extracción de diferentes investigaciones, prototipos y modelos robóticos relacionados con la temática y problemática presentada.

Existen algunos proyectos como DRAPER [7], diseñado por Sprout Studios, con colaboraciones de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos para Draper, organizaciones se han unido para desarrollar este artefacto como un proyecto sin ánimo de lucro. DRAPER es un dron submarino que surca las

profundidades del océano detectando y recogiendo muestras de micro plástico con el fin de realizar mapas de contaminación detallados, controlado por GPS para su geolocalización, funciona de forma totalmente autónoma, y se recarga mediante energía eólica en unas estaciones en forma de boya flotante.

El AUV de Draper puede detectar y analizar micro plásticos invisibles, y permitir a los científicos comprender de dónde se originan, dónde son más prominentes y cómo evitarlos. contaminando nuestras aguas. Cuando se despliega el AUV, roza los primeros nueve metros del agua donde se encuentran la mayoría de los micro plásticos, escanea en busca de micro plásticos, prueba de tipos específicos y finalmente transmite las coordenadas GPS en un mapa de calor [7].

Por su parte, “WasteShark” es otro ejemplo del uso de la tecnología dron para luchar contra la contaminación plástica en el mar. Desarrollado en Holanda por la empresa RanMarine, este pequeño robot actúa como un “comedor” de basura. Atrapa los residuos a través de una abertura frontal que parece una gran boca (de ahí que lo hayan bautizado como el tiburón de la basura). El WasteShark puede atrapar hasta 500 kg de residuos al día, según aseguran sus inventores en su página web. Ciudades como Rotterdam, Dubái o Devon ya utilizan esta nueva tecnología para limpiar las aguas de sus puertos deportivos. Aunque estos robots contribuyen al manejo de este tipo de residuos, Draper, por ejemplo, solo funciona como un detector, más no realiza el proceso de recolección; y, WasteShark, a pesar de que recolecta, este debe seguir una ruta previamente establecida [8].

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El problema en cuestión es la limitante que se tiene para la recolección de desechos una vez ingresan a los ecosistemas acuáticos, ya que son áreas extensas y difíciles de depurar de manera continua. Según la situación presentada en el planteamiento y formulación del problema, Por ende, se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Como minimizar la contaminación acuática en la región Atlántico haciendo uso de la Robótica y la visión artificial?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Actualmente en el atlántico se presenta un descuido por parte de las autoridades ambientales en el lago del cisne, tenemos un recurso hídrico muy poderoso que con el paso del tiempo y la poca limpieza que se le realiza al agua de este lago, se está convirtiendo en una fuente de contaminación que afecta a los habitantes aledaños, siendo la principal razón el poco turismo que ahora llega a este punto, y la baja confiabilidad del agua como para utilizarla en los hogares [1].

Debido a esta problemática, a la falta de limpieza del lago y su ejecución de manera manual y en dependencia de planchas y mallas para recoger los residuos flotantes en el lago, se desarrolla este proyecto que está enfocado en un sistema robótico encargado de recolectar los residuos sólidos flotantes en ecosistemas acuáticos sin oleaje, buscando disminuir la contaminación ambiental en lagos de puerto Colombia- Atlántico, especialmente dirigido al ecosistema del Lago del Cisne, una situación a la que se busca hacer frente mediante el uso de la robótica, electrónica, mecánica, física y matemática estudiada durante la carrera profesional de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Autónoma del Caribe (Barranquilla-Colombia), ofreciendo un beneficio directo del ecosistema gravemente afectado, y por ende, de la zona en donde intervienen factores como el turismo y el comercio.

Este proyecto basado en la integración de un sistema robótico automatizado para la detección y recolección de los desechos flotantes en el Lago Del Cisne, contempla un sistema como un vehículo de superficie no tripulado que navegará en el agua en busca de los desechos flotantes, los cuales serán reconocidos por una cámara que tomará imagen, el robot la procesará e identificará el desecho y mediante sensores de proximidad, motores DC y servomotores, se dirigirá hacia el lugar de recogida, lo recogerá y seguirá en la búsqueda de más desechos, ayudando de gran manera a la disminución de contaminación en el lago, a mejorar el aspecto del sitio, atraer nuevamente el turismo para recuperar la economía de los habitantes de la zona y sobre todo ayudando a que el agua sea más limpia y esta se pueda utilizar por los habitantes aledaños para actividades cotidianas.

#### **1.4 ALCANCE**

- El prototipo se diseñó especialmente para la extracción de residuos flotantes, el cual ha de cumplir con algunas propiedades físicas como su masa, volumen y densidad que son esenciales para que el robot pueda flotar y moverse en el agua o en algún otro fluido.
- El dispositivo se probará en entornos controlados (piscinas lagos naturales o lagos artificiales que se encuentren al alcance del lugar de residencia del investigador) con objetos predefinidos (botellas plásticas, latas, etc.) para las pruebas iniciales y corrección de errores en el funcionamiento.
- El USV se diseñará y fabricará, teniendo en cuenta que deberá transportarse fácilmente. Esto requerirá que sea pequeño y de bajo peso.

- El prototipo funcionará con dos sistemas de baterías independientes: uno para el funcionamiento eléctrico (motor brushless, servomotor, receptor) del USV y otro para proporcionarle energía al sistema de reconocimiento (RaspberryPi, cámara...)
- El USV será estructuralmente parecido a un catamarán, con el espacio en el medio de los dos cascos para recoger los desechos flotantes en su interior.
- El prototipo poseerá dos direcciones al navegar (adelante y atrás) y dos direcciones para girar (derecha e izquierda).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un prototipo de robot acuático no sumergible guiado con visión artificial para la recolección de residuos sólidos contaminantes de la superficie en los lagos de Puerto Colombia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar un prototipo USV (Vehículo de superficie no tripulado) por medio de un software CAD&CAM para la simulación del ensamblaje de los componentes electromecánicos.
- Construir un prototipo USV a partir del modelo 3D diseñado en software mediante el uso de procesos de manufacturas.
- Programar un sistema embebido para el reconocimiento de residuos flotantes en un entorno acuático teniendo en cuenta la instrumentación utilizada en la construcción para su interacción con el agua.
- Validar técnico y funcional el sistema robotizado para garantizar el cumplimiento del objetivo general.

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 ESTADO DEL ARTE

- **Robot limpia playas**

En [9], realizaron el diseño motriz de un robot con locomoción tipo oruga para desplazarse sobre la arena de las playas, usaron motores DC de alto torque y puentes H del mercado, la aceleración de los motores la realizaron por PWM para bajar el consumo de los amperios. Realizaron mucha prueba y error y no dimensionaron bien el alcance de su proyecto. Los resultados fueron reducidos, el desarrollo de dicha propuesta quedó en un aproximado del 30 al 40%, viéndose afectados por factores como el tiempo, ya que este no les fue suficiente. Por su parte, muchos de los dispositivos empleados fueron quemados debido a que no se realizaron los debidos estudios previos a la electrónica. Por su parte, en cuanto a los objetivos alcanzados, lograron diseñar y construir un sistema de locomoción tipo oruga; sin embargo, no fue posible integrar la recolección de botellas de vidrio, plástico y aluminio que previamente iban a separar por sensores.

El reporte de dicho proyecto señala un alcance muy alto. Según el tiempo estipulado, la elección y compra de materiales no fue oportuna, ya que estos no funcionaban. El cumplimiento de las metas fue tardío, al igual que el proceso de mover los motores y lograr la locomoción.

El principal aporte es el proceso atravesado en cada una de las etapas del desarrollo del proyecto, ya que invita a esclarecer un alcance propio, a realizar un proyecto que tenga un grado de ingeniería adecuado según el proyecto, pero que, a la vez, sea posible realizar dentro del tiempo y presupuesto estipulado, y de los conocimientos adquiridos.

- **Diseño y construcción de un robot para limpieza acuática**

El proyecto Diseño y construcción de un robot para limpieza acuática, desarrollado por [10], es un robot de conducción acuática flotante que tiene como propulsor 2 ventiladores DC a 9V, con una estructura de icopor o espuma de plástico para mejorar la flotabilidad, haciendo que la densidad realice un empuje mucho mayor que la del peso del robot.

En cuanto a la recolección, fueron empleados sensores SHARP para la detección de distancia por infrarrojo, para identificar los elementos a recolectar. Por último, el brazo mecánico para levantar las piezas del agua, según el diseño, posee dos laterales con una malla siempre sumergida, para que, al momento de encontrar un elemento y subir el brazo, la malla pueda sostener el elemento y posterior a ello, lo alce para llevarlo a la superficie.

Los resultados obtenidos por este proyecto son favorables: es un diseño compacto, 100% funcional, en especial, en cuanto a la movilidad en la superficie, los ventiladores permiten una oportuna maniobrabilidad y el mecanismo de recolección es efectivo. No obstante, posee limitaciones al recoger cierta cantidad de elementos, el robot tiene dimensiones pequeñas por lo que no alberga más de 4 o 5 residuos flotantes. Por su parte, el sensor infrarrojo solo detecta hasta 10 cm de distancia, por lo que un elemento flotante que esté a una mayor distancia no será visto.

El modelo anterior representa una importante referencia para el presente proyecto, ya que permite centrar el alcance, partiendo de que el sistema de movilidad es eficiente y bien estudiado; sin embargo, amerita mayor detalle con referencia a la electrónica, pese a que la mecánica de los movimientos de avance, giros y elevación del brazo recolector son muy completos, siendo un modelo antecedente y de análisis para el desarrollo del prototipo de esta investigación.

- **Diseño y construcción de un prototipo USV para el reconocimiento y geoposicionamiento de residuos sólidos flotantes**

En [11], se presenta el diseño y construcción de un USV, desarrollado con costo menor a los 300 USD. El robot en cuestión es capaz de navegar sobre una superficie acuática guiado por un operador, mediante cámara integrada y control remoto por RF, el operador debe guiarlo hasta el objeto flotante en el agua y una vez detectada una señal desde el mando para que el robot realice la geolocalización dentro de una base de datos que guarda el controlador.

La metodología utilizada para la propulsión es de tipo hidro deslizador, ayudando así a que ningún elemento esté sumergido en el agua. Por su parte, la geolocalización y el envío de datos vía IOT, es una tecnología bastante avanzada, así como el envío de video en vivo de manera inalámbrica. Sus principales resultados fueron la elaboración mecánica según sus planos CAD, un buen diseño pre eliminar y durante el desarrollo de planos, lo que condujo a una construcción mecánica sin errores.

El uso de la Raspberry PI en conjunto con la cámara de 5 Megapíxeles, es un plus que da garantía de que el robot “sabe lo que está viendo”. Sobre la principal limitación, se relaciona con que el robot no puede recoger residuos ni limpiar el ambiente, solamente sirve para obtener datos y enviarlos, funciona como un detector para el conocimiento de la ubicación de la basura, más no es una herramienta para minimizar la contaminación ambiental a través de la recolección de residuos.

Esta investigación y modelo representa una buena fuente de información en cuanto al desarrollo de la motricidad sobre el agua y el uso de la visión artificial, el cual se tiene previsto para presente proyecto, aportando, por ejemplo, el estudio realizado

sobre las baterías, sirviendo como referencia para la elección del sistema de alimentación a emplear.

- **Diseño preliminar de un sistema tele operado para la recolección de residuos sólidos flotantes en los pantanos de Villa**

El proyecto de [12], se enfoca en el diseño mecánico de un prototipo USV, contempla el funcionamiento del sistema mediante propulsores sumergidos en agua, una red recolectora que estará siempre sumergida, de tal forma que los elementos y residuos ingresen uno a uno mientras el robot avanza hacia adelante. Está compuesto por una base para flotabilidad tipo catamarán, y cámara de visión para transmisión de video en vivo.

Los resultados de la investigación responden solo a datos teóricos, pues el documento no se basa en la construcción del prototipo, sino en el diseño, en el que se destacan detalles y la elección del tipo de embarcación, tipo de movimiento para la propulsión, integración de los elementos y el mando de control a distancia.

La principal limitación del proyecto es la autonomía, debido a que no es un diseño para la elaboración de un robot, el diseño se pensó para un mecanismo que será tele operado, por lo cual, presenta una desventaja, ya que necesita la intervención y colaboración humana, lo que se transforma en mano de obra y horas laborales que deben ser pagas.

- **Sistemas de recolección de plásticos en el medio marino y propuesta de plan alternativo**

El proyecto realizado por [13], está basado en una investigación que obtuvo como resultado un documento que contiene el reclutamiento sobre los diferentes sistemas y métodos en el mercado para la recolección de residuos flotantes en el mar; en él, se realiza un análisis comparativo en el mercado, con respecto a precios,

inteligencia, mecanismos y eficiencia, lo cual, se complementa con una propuesta aparte de cómo se puede definir una alternativa en paralelo a estos sistemas automáticos.

Según el documento, se llega a la conclusión de que no es rentable implementar estos sistemas autónomos de recolección, por lo tanto, se propone un plan alternativo con una barrera flotante que detenga la basura y los desechos provenientes del mar, para posteriormente un usuario encargado recoja lo acumulado.

Las limitaciones del proyecto son muchas, pues el informe sostiene que un sistema automático no generará la misma eficiencia que una barrera mecánica que siempre esté y sea de gran tamaño, el problema de este planteamiento es que siempre que se necesite la mano de obra humana, las tareas se retrasarán y perderán continuidad en el tiempo,

- **Diseño y construcción de un robot acuático**

En [14], diseñaron y construyeron un robot sumergible que es capaz de navegar en la superficie y bajo el agua desde la tele operación. El artefacto cuenta con 8 tipos de motores que actúan a 6 aletas que le dan el direccionamiento al robot según el juego las inclinaciones, y dos motores para las turbinas que van siempre girando para impulsar el robot hacia adelante.

Los resultados de este proyecto fueron muy precisos, casi en un 80%, siendo el desacierto principal en la bomba dispuesta en el robot para llenar una recámara de agua, la cual, como un submarino, debería ayudar al robot a sumergirse, pero esta era de poco volumen, por lo que el robot no cumplía con una densidad mayor al agua, viéndose en la necesidad añadirle contra peso al prototipo.

Su principal limitación es que debe ser controlado por cable, pues la interfaz de manejo está en un computador diseñado en MATLAB y estos comandos viajan por cable hasta el robot, por lo que:

- No puede ir muy lejos, las distancias son limitadas.
- Es un punto de falla el tener el cable expuesto al agua.
- El conducto por donde entra ese cable puede presentar fuga y dejar que el agua entre.

- **Algoritmo de cooperación para prototipos de robots acuáticos no sumergibles para la recolección de objetos flotantes**

En [15], realizaron el levantamiento de información para realizar una interacción entre dos o más robots con el objetivo de que estos puedan comunicarse al momento de realizar la tarea de búsqueda de desechos flotantes; por ejemplo, saber en cuál de los dos puntos hay más desechos, pedir ayuda, o incluso algún tipo de mapeo del ambiente para evadir obstáculos.

El resultado obtenido fue una serie de elementos con los que se puede hacer la comunicación, unas por bluetooth, otras por radio frecuencia, wi-fi entre otras, cada una con la capacidad máxima de dispositivos a conectar en la red y sus respectivas ventajas y desventajas, para que el usuario elija cual es la adecuada para el proyecto.

La principal limitante es que ya se debe contar con mínimo 2 robots que hagan esta tarea para comunicarlos entre sí, no se explica ni se detalla cómo diseñar y construir uno de estos o, en su defecto donde pueden ser adquiridos.

- **Robot inteligente recolector de basura asistido por redes neuronales artificiales**

El proyecto [16], contempla la realización de una integración electromecánica junto al conocimiento en ciencia computacional que permitió dar como resultado un robot

inteligente que se utilizó para el reconocimiento de basura mediante el uso de redes neuronales, donde las imágenes son procesadas por diferentes filtros, logrando el reconocimiento entre objetos normales y basuras.

El robot es terrestre, con una locomoción tipo oruga que cuenta con dos motores para cada uno de los lados, cada motor tiene un piñón que mueve la cadena de arrastre. Tiene un mecanismo de recolección tipo brazo robótico de 4GDL, y un actuador accionado por motor que abre y cierra para tomar el desecho.

Con un 75% de aceptaciones, la cámara web toma imágenes que, después de ser procesadas, el controlador decide si hay o no un objeto “basura” que deba ser recogido, y dependiendo de la zona en la que el objeto se encuentre el robot ya sabe hacia dónde debe dirigirse. La limitante es que es terrestre, y utiliza una tarjeta de procesamiento para la señal de video Nvidia Jetson Nano que está aproximadamente en el valor de \$1´300.000 COP.

- **Diseño De Un Dron Marino Para La Recogida De Residuos Plásticos**

Para este dispositivo diseñado por [17] , se emplearon sensores de temperatura y humedad, acelerómetro, GPS, una cámara Raspberry y la Raspberry PI 3. Posee 2 motores de propulsión con hélices de 3 palas y un casco de flotabilidad tipo catamarán. Los resultados son favorables, dado que el proyecto se basa solo en un diseño, pero se hace un estudio completo de la estructura, dedicándole gran parte del documento a esta, a los esfuerzos, a la flexión y las cortantes que experimentará el dispositivo si es desarrollado.

Como observaciones se resaltan que el espacio de recolección es muy pequeño limitado, y, aunque tienen una cámara en el diseño del robot, no realizan tareas de visión artificial ni de detección para el sistema, simplemente la integran al sistema para una posterior programación, pero no va incluida la parte de la integración por software del robot.

- **Diseño y construcción de un prototipo recolector de material plástico flotante en el agua**

El prototipo diseñado y construido por [18], utiliza una estructura tipo embarcación para la base del prototipo, emplea propulsiones por hélices sumergibles, el control lo hacen por Radio Frecuencia. No es autónomo, no tiene sensores, un sistema de recolección de una malla tipo L que no tiene movimiento, simplemente está en el frente, recogiendo la basura por donde el robot pase.

Los resultados son mínimos, aproximadamente en un 60%, se le dedicó mucho tiempo al trabajo del casco del barco, y por último el sistema de recolección, por lo que solo resultó tener una malla en L que pudiera recoger los residuos.

Su limitante es que por encima está desprotegido totalmente, no tiene una cubierta que proteja el robot ante gotas o salpicaduras, el agua puede entrar y caer directamente a la electrónica, además de que tiene que ser controlado remotamente, no tiene sensores para detectar ni ningún tipo de tecnología.

- **Diseño de un robot móvil recolector y compactador de botellas de plástico utilizando redes neuronales en playas con arena fina**

El proyecto presentado por [19], es un robot que recoge las botellas plásticas de la arena y pretende una vez las recoja, pasarlas por una molienda y, posterior a eso, depositar las virutas en un compartimiento. Cuenta con puentes H, locomoción tipo ORUGA, 4 servomotores para el brazo recogedor, sensor ultrasónico, un motor DC para la compactadora y una batería 12V. El objetivo era diseñarlo y, por lo tanto, este fue cumplido, mediante una tarjeta micro, un puente H, módulos relays. Sensores de distancia, 3 motores DC y 3 servo motores y batería de ion litio.

## 3.2 MARCO TEÓRICO

El desarrollo de este proyecto de investigación se fundamenta en un conjunto de conceptos propios de la temática y problemática planteada, además de una serie de dispositivos a presentar en el siguiente marco teórico.

En principio, la robótica es una técnica utilizada para diseñar y construir máquinas capaces de realizar tareas específicas con la menor intervención posible del hombre, esto, gracias a que cuenta con procesadores previamente programados, que utilizan tarjetas electrónicas para activar accionamientos como motores, indicadores y actuadores según van obteniendo datos del ambiente mediante sensores que pueden ser de tipo capacitivos que detectan materiales sólidos; inductivos, que detectan metales; análogos, capaces de detectar magnitudes variables como la temperatura, humedad, distancia, presión, volumen, nivel entre muchas otras; y, también sensores mucho más avanzados como las cámaras de visión artificial.

Estas últimas han logrado un auge enorme en la automatización permitiendo llegar a niveles de rigurosidad extrema en cuanto a la observación de entornos que deben ser medidos y estudiados, por ejemplo, en la inspección de calidad de muchos productos suelen utilizar estas cámaras que, a diferencia de las normales, te permiten procesar la imagen y tomar conclusiones específicas dependiendo de lo que se requiera [20].

El robot que presenta el proyecto cuenta con motores de propulsión que le permitirán navegar de forma continua sobre el agua, guiado por la cámara de visión que estará tomando constante fotos, las cuales, serán procesadas por un sistema embebido programado para buscar posibles desechos que puedan ser recogidos; una vez detecte el desecho, este sistema se encargará de darle el direccionamiento al robot para navegar hasta él, haciendo uso de sensores ultrasónico, para poder llegar al desecho, tomarlo y almacenarlo en un área establecida mientras el robot

se llene. Una vez esté en su nivel máximo, descargará la basura recolectada y procederá con más búsqueda, mejorando en gran manera la forma de limpieza de estos ecosistemas, de forma continua, automática, permitiendo así que cada desecho que llegue al lago sea recogido de forma inmediata y así no tener que esperar que se acumulen cantidades de desechos para luego programar una limpieza manual.

En cuanto a la descripción de los dispositivos a emplear para la construcción del prototipo, estos cuentan con capacidad de comunicación RF, capacidad de análisis de imágenes en tiempo real y, además, dispositivos electrónicos de potencia tales como: motores, servomotores y baterías especiales para afrontar el alto consumo de energía de todos los componentes mencionados, principalmente los de potencia.

Una de las tecnologías más usadas para el USV, y presentada en diferentes segmentos de esta investigación, es la RaspberryPi 4, la cual, es una tarjeta compuesta por un microprocesador con capacidad similar a la de un computador diminuto que posee un sistema operativo instalado, y a la que es posible conectar varios periféricos (sensores, cámaras, servomotores, módulos, entre otros). Esta tarjeta es la que se encargará de procesar toda la información recibida como del reconocimiento de los objetos que la cámara perciba.

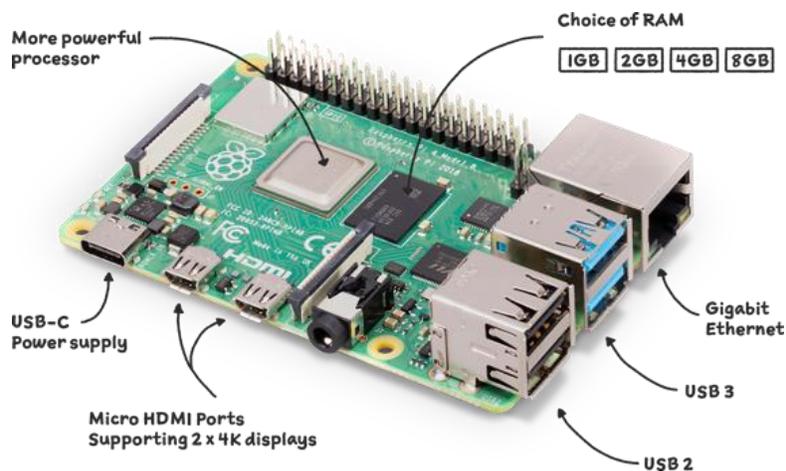


Figura 1. RaspberryPi 4 [21]

Para el sistema de dirección del prototipo se utilizarán servomotores, como se aprecia en la siguiente figura, se utilizarán para el control de la dirección del USV. Los servomotores son dispositivos que, dependiendo de su objetivo y su fabricación, pueden girar de 0° a 180° o girar 360° (vuelta completa). Funcionan basados en una señal PWM (Pulse Width Modulator–tren de pulsos) que, por lo general, es brindada por un microcontrolador o un microprocesador; en este caso, un microprocesador (RaspberryPi).

Luego, al variar el tren de pulsos, ya sea en frecuencia o en periodo, el servomotor se ubicará en una posición específica predeterminada. Es este mismo movimiento que puede mantener el servomotor de forma estática el que se usa para direccionar las hélices o alerones del USV y así, redireccionar el viento producido por el motor del prototipo para que pueda girar.



Figura 2. Servomotor TowerPro MG-995 [22]

Como único propulsor del prototipo, se usará un motor brushless Turnigy outrunner 2826 –2200KV que se presenta a continuación; este cuenta con la suficiente capacidad para impulsar el USV con todos los componentes. Al igual que los servomotores, existen muchos tipos de motores brushless que podrían usarse como propulsores del USV a construir; sin embargo, se ha escogido este por su economía, la potencia (342W) y la disponibilidad en el mercado. Este motor es capaz de girar a 12000RPM aproximadamente con una hélice de 6"x4"



Figura 3. Motor brushless Turnigy 2826 -2200KV [23]

Para el sistema de alimentación de los componentes, se usarán dos fuentes. La primera fuente estará vinculada al sistema de potencia del USV (motor, receptor de señal y servomotor). Consiste en una batería de plomo ácido AGM, que entrega una carga nominal de 12v con una capacidad nominal de 7.0Ah con dimensiones de 93.5 (Al) x 151 (An) x 65 (Fo) mm; y la otra fuente para el sistema de control que entrega una carga nominal de 6v con una capacidad nominal de 4.5Ah con dimensiones de 100(Al) x 70(An) x 45 (Fo) mm.



Figura 4. Baterías Plomo ácido AGM [24]

## 4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

### 4.1. METODOLOGÍA

Este proyecto está basado en la metodología Planificación-Diseño-Implementación-Operación-Optimización (PDIOO) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), la cual permitió una organización correcta para el desarrollo del prototipo y cumplimiento de los objetivos de acuerdo con el cronograma de actividades



Figura 5. Metodología PDIOO [25]

Según [25], es una metodología de buenas prácticas para el desarrollo de redes de comunicación, soportando así la evolución de un red con el pasar de los años, esto, debido a que en la comunicación y la transmisión de señales de voz/datos, el consumismo crece exponencial, haciendo que día a día la rapidez que se exige para las redes de comunicación sea mayor, por eso deben estar en un constante ciclo de vida que permita la operación y a la vez la optimización para así no quedar en la obsolescencia

Para el desarrollo del proyecto se implementó esta metodología, logrando estipular las siguientes actividades por cada fase como se explica a continuación:

- **Planeación**

En la fase de planeación se elaboró el estado del arte, lluvia de ideas, investigación de antecedentes, se documentaron desarrollos similares y se planteó el alcance de la solución a desarrollar para pasar a la segunda fase, la etapa del diseño.

- **Diseño**

Se realizó un análisis de las ideas para la infraestructura del prototipo, se diseñó usando el software CAD&CAM SolidWorks un modelo 3D de la estructura física, dimensionando los tamaños, simulando los movimientos, ensambles que permitieron definir los espacios para ubicar los sensores y actuadores, materiales para cubrir la salpicadura de agua a las partes electrónicas, el tipo de embarcación a usar (Catamarán) y el tipo de propulsión para la navegación (hélice sumergida).

- **Implementación**

Esta fase del proyecto tuvo como actividad inicial la compra de los materiales, la Raspberry PI, los consumibles para la elaboración de los cascos y la estructura de la embarcación, la cámara, los sensores ultrasónicos, moteres DC y servomotores. Luego de la compra, las actividades se dividieron, dejando a un encargado de la parte de software y programación, instalando el S.O (Sistema Operativo) de la placa madre, realizando el programa de la lectura de imágenes, y la interpretación para el accionamiento de los actuadores (Motores y servos), mientras que el otro responsable se encargó de realizar los moldes en fibra de vidrio, ensamblaje de los elementos, mecanizado, estructura y armado de la embarcación.

- **Operación**

Durante la etapa de operación se integraron las áreas de la mecánica con la electrónica, se instalaron los sensores, las baterías, se ubicó todo en el lugar diseñado y se realizaron pruebas de laboratorio para la verificación del software y la respuestas de los periféricos, se realizaron pruebas de lectura a los sensores, de consumo a los actuadores, se verificó el consumo de todo el sistema, la memoria de procesamiento que consumía el controlador al estar en acción y otros datos como la duración de las baterías, etc.

- **Optimización**

Por último, la fase de la optimización, como lo indica la metodología implementada, es aquella que permite un monitoreo constante del producto, para encontrar los puntos de mejora y optimizarlos, por ello que tuvimos que realizar pruebas ya en campo, en el ambiente controlado que se decidió (Piscina), donde teníamos la oportunidad de ingresar y retirar varias veces el robot, hacerle mejoras, modificación del código y pruebas de campo nuevamente, para luego entrar a la planeación de esa mejora, diseñarla e implementarla.

#### **4.2. TIPO DE ESTUDIO**

La presente propuesta es de carácter experimental, ya que la finalidad de este proyecto es evidenciar el cambio que puede tener un ecosistema acuático cuando cuenta con un robot USV encargado de limpiar la superficie del agua, específicamente el ecosistema del Lago Del Cisne, y los cambios que se pueden ver al realizar una intervención tecnológica como la solución que se desarrolla en este proyecto para disminuir la contaminación ambiental del lugar, que, al mejorar, se ven beneficiados factores como el turismo y, por ende, la economía de sus alrededores.

### 4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO

Tabla 1 cronograma de actividades (propia autoría)

 <span style="float: right;"></span>				
Universidad Autónoma del Caribe Proyecto de Grado - Ingeniería Mecatrónica <b>PLAN DE TRABAJO</b>				
Componentes	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración (Días)
<b>OBJETIVO 1</b>	<b>Diseñar por medio de un software CAD &amp; CAM un prototipo USV (vehículo de superficie no tripulado) para la simulación del ensamblaje</b>	<b>15/09/2022</b>	<b>12/12/2022</b>	<b>88</b>
<b>Entregable # 1</b>	<b>Marco teorico y estado del arte donde se encontrara la informacion pertinente para realizar el diseño CAD del prototipo</b>	<b>15/09/2022</b>	<b>25/10/2022</b>	<b>40</b>
Actividad 1	Busqueda bibliografica y antecedentes en base de datos	15/09/2022	29/09/2022	14
Actividad 2	Selección de referencias	30/09/2022	13/10/2022	13
Actividad 3	Elaboración de tabla y estado del arte	14/10/2022	25/10/2022	11
<b>Entregable # 2:</b>	<b>Ensamblaje y despiece del prototipo en 3D realizado en Solidworks.</b>	<b>26/10/2022</b>	<b>9/12/2022</b>	<b>44</b>
Actividad 4	Bocetos estructurales y lluvia de idea para las dimensiones del prototipo	26/10/2022	2/11/2022	7
Actividad 5	Definir dimensiones del prototipo	3/11/2022	10/11/2022	7
Actividad 6	Selección del mecanismo de propulsión del prototipo	11/11/2022	14/11/2022	3
Actividad 7	Selección del tipo de casco y base	15/11/2022	18/11/2022	3
Actividad 8	Diseño pieza por pieza del prototipo	19/11/2022	30/11/2022	11
Actividad 9	Ensamblaje final del prototipo y planos	1/12/2022	9/12/2022	8
<b>OBJETIVO 2</b>	<b>Construir el prototipo usv a partir del diseño 3D para su implementacion en ambiente controlado</b>	<b>8/01/2023</b>	<b>15/02/2023</b>	<b>38</b>
<b>Entregable # 3</b>	<b>Piezas del prototipo mecanizadas, impresas, cortadas y/o compradas</b>	<b>8/01/2023</b>	<b>20/01/2023</b>	<b>12</b>
Actividad 10	Realizar estudios de esfuerzos y resistencias para la dureza y el tipo de material a utilizar	8/01/2023	11/01/2023	3
Actividad 11	Compra de materiales, realizar pedidos, y uso de procesos de manufactura necesarios	12/01/2023	17/01/2023	5
Actividad 12	Compra de tornilleria y mecanismos de sujeción	18/01/2023	20/01/2023	2
<b>Entregable # 4</b>	<b>Construcción mecanica del prototipo USV</b>	<b>21/01/2023</b>	<b>15/02/2023</b>	<b>25</b>
Actividad 13	Realizar ensamblaje de piezas.	21/01/2023	28/01/2023	7
Actividad 14	Barnizar partes de madera si se utilizarán	29/01/2023	31/01/2023	2
Actividad 15	Pruebas de flotabilidad y estabilidad en el agua	1/02/2023	7/02/2023	6
Actividad 16	Tiempo de re-diseño, mejoras evidencias o corrección de fallos.	8/02/2023	15/02/2023	7
<b>OBJETIVO 3</b>	<b>Programar e integrar un sistema embebido para el reconocimiento de residuos flotantes</b>	<b>16/02/2023</b>	<b>14/04/2023</b>	<b>57</b>
<b>Entregable # 5</b>	<b>Programar sistema embebido</b>	<b>16/02/2023</b>	<b>5/03/2023</b>	<b>17</b>
Actividad 17	Realizar la elección del Sistema embebido (Controlador) y de la tecnología utilizada para el reconocimiento de imágenes y detección de objetos.	16/02/2023	20/02/2023	4
Actividad 18	Compra de elementos elegidos en la actividad anterior	21/02/2023	24/02/2023	3
Actividad 19	Programación y desarrollo de red neuronal convolucional para la detección de objetos mediante un cámara y sistema embebido.	25/02/2023	28/02/2023	3
Actividad 20	Programación de microcontrolador o sistema embebido para el control del prototipo en el agua según el objeto localizado.	1/03/2023	5/03/2023	4
<b>Entregable # 6</b>	<b>Integración electro-mecánica del prototipo</b>	<b>6/03/2023</b>	<b>14/04/2023</b>	<b>39</b>
Actividad 13	Diseño y elaboración de PCB para organización de señales	6/03/2023	13/03/2023	7
Actividad 14	Cableado de componentes a la tarjeta PCB	14/03/2023	18/03/2023	4
Actividad 15	Ubicación de la PCB en el ensamblaje mecánico, conexión de actuadores, sensores y cámara a la tarjeta.	19/03/2023	27/03/2023	8
Actividad 16	Elaboración y montaje de cubierta protectora para la electrónica del dispositivo	28/03/2023	14/04/2023	17
<b>OBJETIVO 4</b>	<b>Validar técnica y funcionalmente el sistema robotizado para garantizar el cumplimiento del objetivo general</b>	<b>15/04/2023</b>	<b>15/05/2023</b>	<b>30</b>
<b>Entregable # 7</b>	<b>Pruebas FAT Y SAT del prototipo</b>	<b>15/04/2023</b>	<b>29/04/2023</b>	<b>14</b>
Actividad 21	Realizar pruebas del prototipo en entorno controlado, con objetos específicos en una piscina (FAT)	15/04/2023	19/04/2023	4
Actividad 22	Realizar pruebas del prototipo en entorno real (lago del cisne), con desechos reales (SAT)	20/04/2023	26/04/2023	6
Actividad 23	documentar las pruebas realizadas.	27/04/2023	29/04/2023	2
<b>Entregable # 8</b>	<b>Dossier del prototipo</b>	<b>30/04/2023</b>	<b>15/05/2023</b>	<b>15</b>
Actividad 26	Análisis de resultados y conclusiones del proyecto	30/04/2023	3/05/2023	3
Actividad 27	Elaborar Dossier( Planos, Pruebas, Archivos CAD, Minutas,Evidencias,Calculos.)	5/04/2023	8/05/2023	33
Actividad 28	Finalizar documentación de la tesis.	9/05/2023	14/05/2023	5
Actividad 29	Presentación del proyecto	15/05/2023	15/05/2023	1
<b>TOTAL</b>				<b>213</b>

## 5. PRESUPUESTO

### 5.1. PRESUPUESTO GENERAL

Tabla 2. Presupuesto general (propia autoría)

 <b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE</b> <small>Barranquilla, Atlántico</small>	<b>PRESUPUESTO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN</b>				<b>GC-IV-PR-05-03</b>
					<b>Versión 5</b>
					<b>21/05/2020</b>
<b>PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO</b>					
<b>RUBROS</b>	<b>Fuentes de Financiamiento</b>				<b>Total</b>
	<b>Dirección de Investigación y Transferencia</b>	<b>Facultad / Programa</b>	<b>Otras fuentes Externas</b>	<b>Contrapartida UAC</b>	
1. Personal Científico	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 9.431.160	\$ 9.431.160
2. Personal de Apoyo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 9.000.000	\$ 9.000.000
3. Consultoría Especializada y Servicios Técnicos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
4. Materiales e Insumos	\$ 0	\$ 0	\$ 1.364.000	\$ 0	\$ 1.364.000
5. Salidas de Campo	\$ 0	\$ 0	\$ 750.000	\$ 0	\$ 750.000
6. Equipos	\$ 0	\$ 0	\$ 6.000.000	\$ 0	\$ 6.000.000
7. Bibliografía	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
8. Difusión de Resultados	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
9. Viajes	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
<b>TOTAL, PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 8.114.000</b>	<b>\$ 18.431.160</b>	<b>\$ 26.545.160</b>

## 5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO.

Tabla 3. Personal científico (propia autoría)

1. PERSONAL CIENTÍFICO										
Nombres y Apellidos	Función dentro del Proyecto	Escalafón Docente	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
Jean coll	Invest. Principal	Instructor	\$ 78.593	2	30				\$ 4.715.580	\$ 4.715.580
Carlos Diaz	Coinvestigador	Instructor	\$ 78.593	2	30				\$ 4.715.580	\$ 4.715.580
3.			\$ 0						\$ 0	\$ 0
4.			\$ 0						\$ 0	\$ 0
5.			\$ 0						\$ 0	\$ 0
6.			\$ 0						\$ 0	\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 9.431.160</b>	<b>\$ 9.431.160</b>

Tabla 4. Personal de apoyo (propia autoría)

2. PERSONAL DE APOYO										
Nombres y Apellidos	Función dentro del Proyecto	Tipo de Vinculación	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
Dixon Jaimes	Aux. Investigación	Practicante	\$ 15.000	10	30				\$ 4.500.000	\$ 4.500.000
Kleyderm Sarmiento	Aux. Investigación	Practicante	\$ 15.000	10	30				\$ 4.500.000	\$ 4.500.000
3.									\$ 0	\$ 0
4.									\$ 0	\$ 0
5.									\$ 0	\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 9.000.000</b>	<b>\$ 9.000.000</b>

### 5.3. MATERIALES E INSUMOS

Tabla 5. Materiales, insumos y equipos (propia autoría)

4. MATERIALES E INSUMOS						
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento				
		Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
Rasberry Pi	Procesador de Visión Artificial			\$ 450.000		\$ 450.000
Arduino Uno	Controlador de actuadores y motores			\$ 60.000		\$ 60.000
Motores	Motores 12 VDC para el sistema de navegación del USV			\$ 120.000		\$ 120.000
Servomotores	Servomotore encargados de abrir y cerrar la compuerta para la recolección			\$ 80.000		\$ 80.000
Cámara Web	Encargada de tomar las imágenes y enviarlas al procesador de Visión			\$ 40.000		\$ 40.000
Estructura	Cascos y estructuras del USV realizadas en fibra de vidrio			\$ 200.000		\$ 200.000
Batería 12V 7A Batería 6V 4.5A	Mantendrá el circuito funcionando			\$ 120.000		\$ 120.000
Drive TB6612FNG	Controladores de motores de corriente continua, para los propulsores.			\$ 44.000		\$ 44.000
Accesorios mecánicos	Rodamientos, poleas, ejes, varillas, malla, entre otros accesorios menores			\$ 100.000		\$ 100.000
Accesorios eléctricos	Pines, Cables, Soldadura, Cinta, Termo encogible, y otros consumibles			\$ 100.000		\$ 100.000
Pintado	Pintura del dispositivo y mano de obra			\$ 120.000		\$ 120.000
Sensores HCSR04	Sensores ultrasónicos para detección de proximidad			\$ 50.000		\$ 50.000
<b>SUB-TOTAL</b>		<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 1.484.000</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 1.484.000</b>

## 5.4. SALIDAS DE CAMPO

Tabla 6. Salidas de campo (propia autoría)

5. SALIDAS DE CAMPO									
Descripción	Lugar	No. de Días	No. de Personas	Costo/día por persona	Fuentes de Financiamiento				
					Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
pruebas en terreno	Lago del Cisne	15	\$ 2,00	\$ 25.000,00			\$ 750.000		\$ 750.000
2.									\$ 0
3.									\$ 0
4.									\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 750.000</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 750.000</b>

## 5.5. EQUIPOS.

Tabla 7. Equipos (propia autoría)

6. EQUIPOS							
Descripción	Justificación	Cantidad	Fuentes de Financiamiento				
			Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
Laboratorios	Para realizar pruebas y ensamble	1			\$ 0		\$ 0
Computador Portatil	Para programar y realizar los diseños 3D del USV	1			\$ 4.800.000		\$ 4.800.000
Taladro, pulidora, destornilladores y herramienta adicional	Herramientas para uso en el proyecto	1			\$ 700.000		\$ 700.000
Licenciamiento de Software por 1 mes	Solidwork - Software de Diseño y Modelado 3D	1			\$ 500.000		\$ 500.000
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 6.000.000</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 6.000.000</b>

## 6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO



Figura 6 Diseño CAD del prototipo (propia autoría)

### 6.2. DESARROLLO DEL PROTOTIPO.

- Planeación

Se identifica la problemática a solucionar, “Lago del cisne presenta basuras flotantes, desechos plásticos y otros contaminantes en la superficie”, surge la idea de realizar un robot prototipo para la limpieza de la superficie del agua de manera automática y constante. Se indaga sobre los antecedentes y posibles soluciones similares al problema, se evalúan costos, se investigan materiales y se piensan las posibles soluciones.

Una vez realizado el estado del arte, comenzamos con la selección de los materiales para trabajar, una de las primeras selecciones fue el material para realizar la carcasa, a continuación, una tabla con los materiales a elegir y sus especificaciones técnicas:

Tabla 8. Tipo de materiales para uso en carcasa (propia autoría)

<b>Material</b>	<b>Resistencia al agua</b>	<b>Maleabilidad</b>	<b>Densidad</b>
<b>Madera (Cedro)</b>	60%	40%	490 kg/m <sup>3</sup>
<b>Aluminio</b>	90%	70%	2700 kg/m <sup>3</sup>
<b>Fibra de Vidrio</b>	100%	100%	2600 Kg/m <sup>3</sup>

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observó que la madera, en este caso el cedro, es un elemento con una densidad más baja que el agua lo que le permite tener la facilidad de flotar, sin embargo otras características como la resistencia al agua y la maleabilidad para poder hacer figuras con él, nos hicieron descartarlo, pues sabíamos que sería difícil darle forma a los elementos en cedro con herramientas caseras, por lo tanto la elección estuvo más centrada entre aluminio y fibra de vidrio, entre estos, la densidad de la fibra de vidrio es menor que el aluminio, por ende se necesita menos volumen en el robot para hacerlo flotar, además, darle forma a la fibra de vidrio es mucho más fácil porque al aplicarla es una pasta que se va moldeando a una superficie y después de secar queda rígida con alta repelencia al agua.

Para los equipos de visión artificial y procesadores, hicimos un programa en pc donde se realizara una captura de video y sobre el video se aplicarán filtros de

colores y tonalidades, logrando detectar objetos en movimiento, con el fin de conocer cuanta memoria Ram se podría estar utilizando durante el funcionamiento del robot, con aproximadamente 3 Gb Ram de consumo en el procesamiento del video, se procede a buscar un controlador mucho más robusto que un Arduino, eligiendo como procesador principal, la Raspberry Pi 4 con las siguientes características:

Tabla 9. Características del procesador principal [26]

<b>RASPBERRY PI 4 MODELO B</b>	
<b>Procesador</b>	Broadcom BCM2711
<b>CPU</b>	Cuatro núcleos a 1.5Ghz
<b>GPU</b>	VideoCore VI
<b>Memoria</b>	4 Gb
<b>Conectividad</b>	802.11ac Wi-Fi / Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet
<b>Vídeo y sonido:</b>	2 x puertos micro-HDMI puerto de pantalla MIPI DSI puerto de cámara MIPI CSI salida estéreo de 4 polos puerto de vídeo compuesto.
<b>USB</b>	2 * USB 3.0 2 * USB 2.0
<b>Alimentación</b>	5V/3A vía USB-C, 5V vía cabezal GPIO
<b>E/S Digitales</b>	Cabezal GPIO de 40 pines.

Para motores, sensores y servomotores se eligieron equipos usados de otros proyectos, como lo son:

- Sensores HC-SR04, sensores de proximidad por medio de ondas de ultrasonido, que poseen las siguientes características:

Tabla 10. Características sensor proximidad [27]

<b>SENSOR PROXIMIDAD HC-SR04</b>	
<b>Voltaje Operación</b>	5V DC
<b>Corriente reposo</b>	< 2mA
<b>Corriente de trabajo</b>	15mA
<b>Rango de medición</b>	15mA
<b>Precisión</b>	+ - 3mm
<b>Ángulo de apertura</b>	15°
<b>Frecuencia de ultrasonido</b>	40KHz
<b>TRIG mínimo</b>	10 $\mu$ S
<b>Rango de ECO</b>	100-25000 $\mu$ S
<b>Dimensiones</b>	45*20*15 mm

- Servomotores MG995, servomotores de corriente continua de 180° que poseen las siguientes características:

Tabla 11. Características servomotor [28]

<b>SENSOR PROXIMIDAD HC-SR04</b>	
<b>Voltaje Operación</b>	4.8 a 6.6 V DC
<b>Velocidad de Operación</b>	0.20 s/60° (4.8 V), 0.16 s/60° (6 V)
<b>Torque detenido</b>	9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
<b>Ángulo de rotación</b>	180° aprox.
<b>Peso</b>	55 g
<b>Dimensiones</b>	L 40.7, W 19.7, A 42.9 mm

- Motores RF-540 de corriente continua altas rpm que poseen las siguientes características:

Tabla 12. Características de motores RF-540 [29]

<b>MOTOR DC RF-540</b>	
<b>Voltaje de Operación</b>	12V DC
<b>Diámetro del Motor</b>	37,5 mm
<b>Altura del Motor</b>	50,8 mm
<b>Diámetro del eje de salida</b>	3.175 mm
<b>Longitud del eje de salida</b>	16 mm
<b>Peso</b>	190 g
<b>Velocidad sin carga</b>	12.5000 RPM

La elección de la batería se dio según el consumo esperado del robot el cual se distribuye de la siguiente manera:

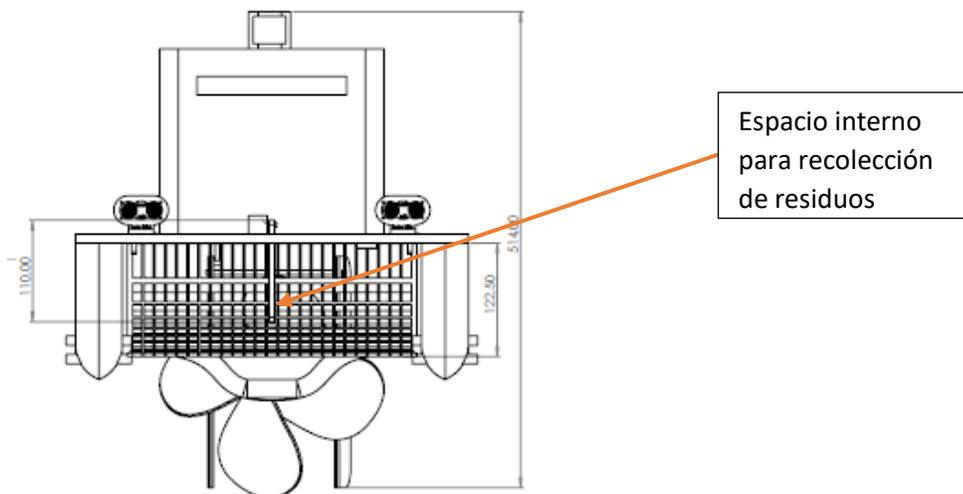
Tabla 13. Consumos del prototipo (propia autoría)

<b>Consumo de corriente del prototipo</b>	
<b>Consumo del controlador</b>	3 A
<b>Consumo de motores</b>	2 A
<b>Consumo de sensores y servos</b>	0.7 A
<b>Total, de consumo esperado</b>	5.7 A
<b>Batería elegida</b>	12V – 7 A

- Diseño

Para el diseño de la estructura se eligió un tipo catamarán aprovechando el espacio interno entre cascos.

Figura 7. Vista frontal planos del diseño (propia autoría)



Se diseñó el tamaño del prototipo según principio de Arquímedes, utilizando la densidad de la fibra de vidrio y el agua, se encontró la cantidad de volumen que el robot debe tener para permitir su flotabilidad mediante la ecuación del empuje hacia

arriba que debe experimentar el prototipo en el agua, ya que esta debe ser igual al peso del prototipo, a continuación, el análisis y los cálculos del tamaño del prototipo:

(Mp) Masa del prototipo: 25 Kg

(Wp) Peso del prototipo:  $25 \text{ Kg} * g = 245.25 \text{ N}$

(Pa) Densidad del agua =  $1000 \text{ Kg/m}^3$

(Vs) Volumen sumergido del prototipo =  $0.3V_p$  (Volumen del Prototipo)

(E) Empuje del agua hacia arriba =  $245.25 \text{ N}$

(g) Gravedad de la Tierra =  $9.81 \text{ m/s}^2$

Formula a utilizar:  $E = Pa * V_s * g$

*Ecuación 1. Empuje del agua en función del Volumen sumergido, densidad y gravedad.*

Reemplazamos:

$$245.25 \text{ N} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.3 V_p * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$245.25 \text{ N} = 2943 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} V_p$$

$$V_p = \frac{245.25 \text{ N}}{2943 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} = 0.0833 \text{ m}^3$$

*Ecuación 2. Desarrollo de principio de pascal para el dimensionamiento del dispositivo*

Volumen que debe tener el prototipo para que solamente se sumerja el 30%, es decir los cascos y así el prototipo pueda tripular y recoger los desechos, a continuación, un diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre el Prototipo:

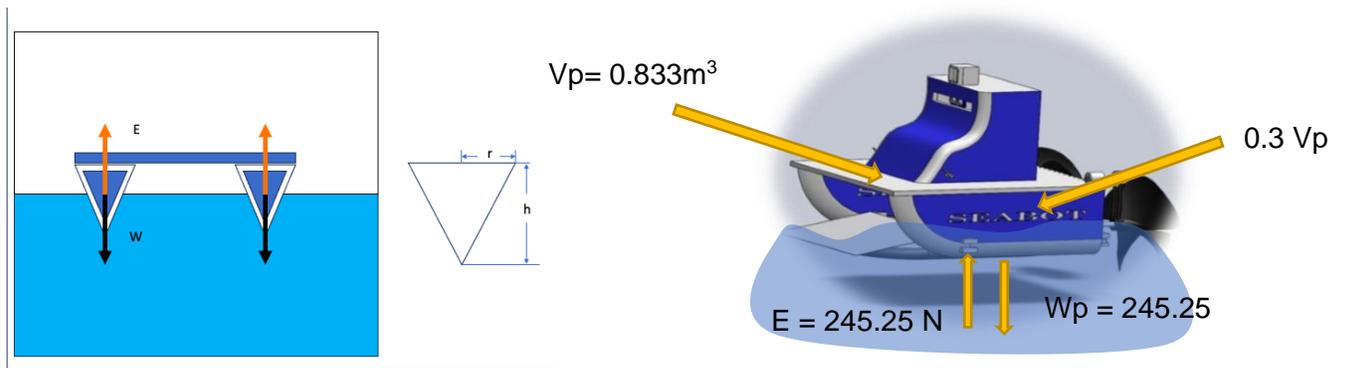


Figura 8. Diagrama de cuerpo libre y flotabilidad del prototipo (propia autoría)

- Diseño tecnológico de la composición del prototipo:

A continuación, se describirá y posteriormente se ilustrará la filosofía de control que tiene el prototipo:

El prototipo cuenta con dos motores de corriente continua que están encargados de la marcha, hacia adelante, hacia atrás y los giros del prototipo en el agua, sensores de ultra sonido para detectar la proximidad de objetos y servomotores para elevar la malla cuando el compartimiento esté lleno de residuos, estos elementos sensóricos y actuadores son manejados por un procesador esclavo llamado Arduino Uno, es quien se encarga de apagar y encender los equipos mediante la orden que le dará la placa principal y controlador del prototipo, llamada Raspberry PI.

El prototipo tiene una cámara webcam integrada la cual se conecta directamente al procesador Raspberry PI, este se encarga de tomar la captura de video, procesarla y luego por cable USB enviar los comandos al Arduino para que este accione los actuadores (Debido que los voltajes de E/S que maneja la Raspberry PI son de 3.3 V y consumos máx. en mA) mientras este lee los sensores de ultrasonido para evitar colisiones del robot, cuando la cámara detecte algo, se enviará igualmente por señal la ubicación y como deben encender los motores para navegar en la dirección deseada.

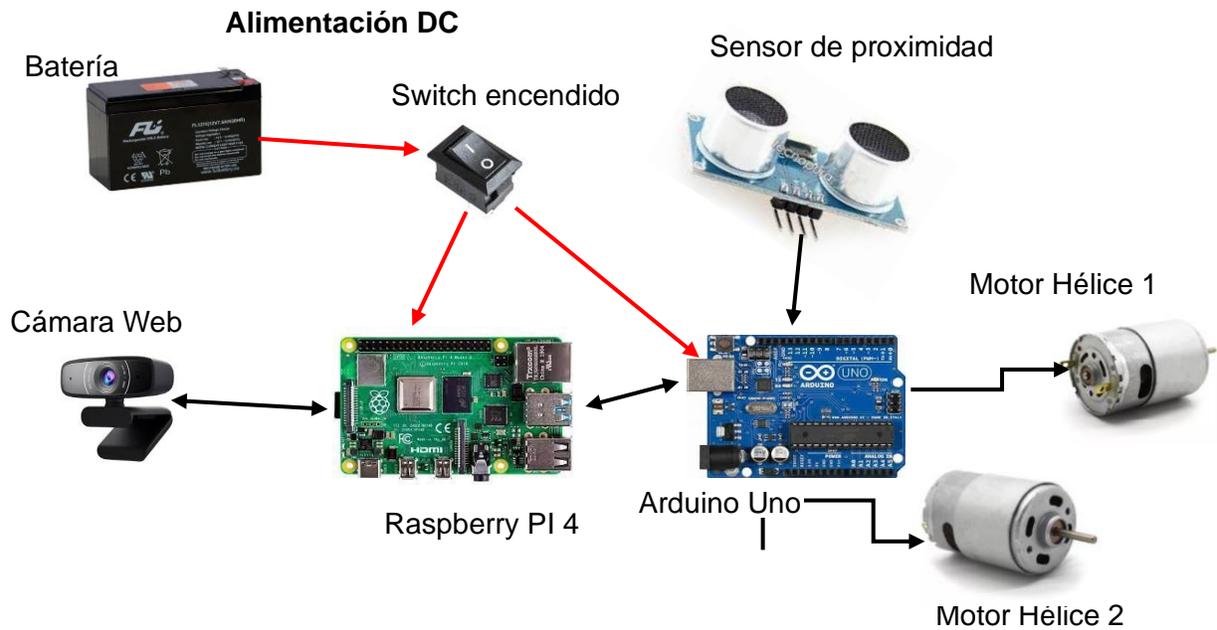


Figura 9. Control y operaciones (propia autoría)

Nota: Para ver los planos y vistas isométricas del prototipo ir a la sección de **¡Error! N o se encuentra el origen de la referencia..**

- Diseño PCB realizada

Se definió la elaboración de PCB como organizador de cableado para mejorar la estética menorar el uso del espacio, para ello se tuvo en cuenta los actuadores y los sensores que se tienen en el prototipo, a continuación, el Schematic del diseño:

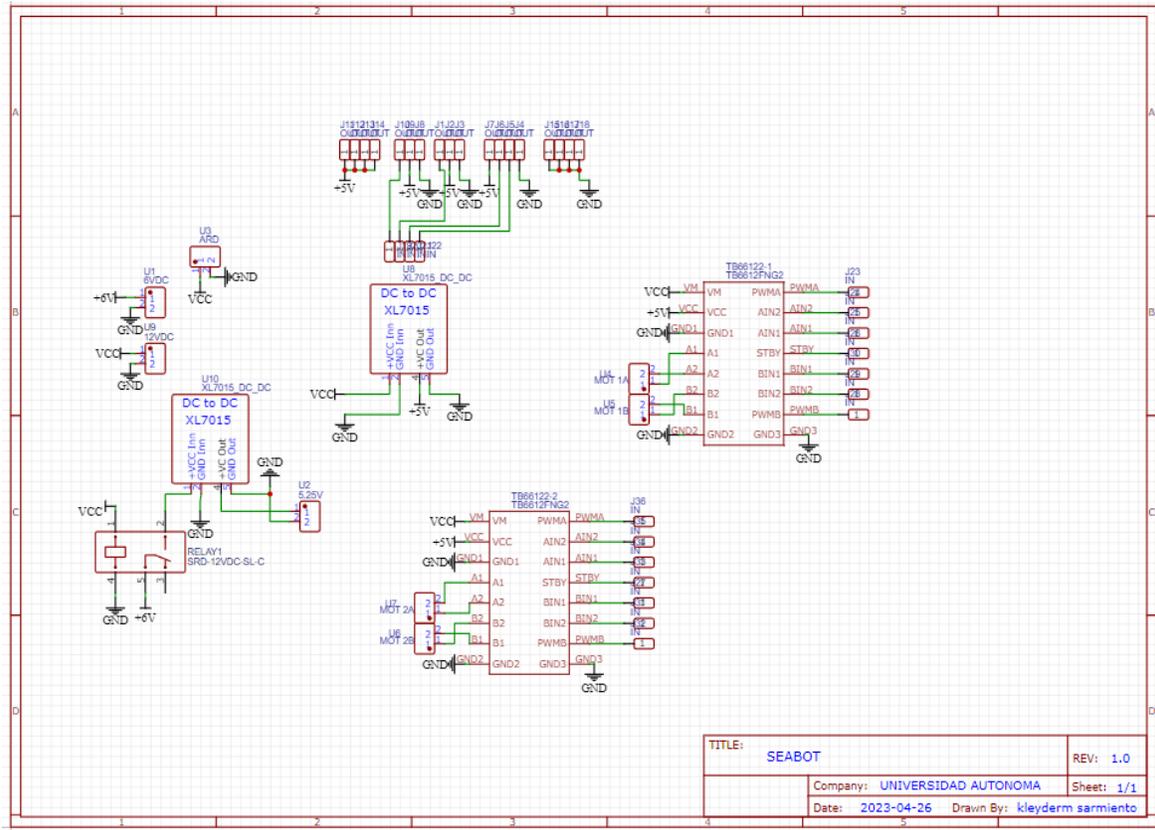


Figura 10. Schematic del diseño PCB (propia autoría)

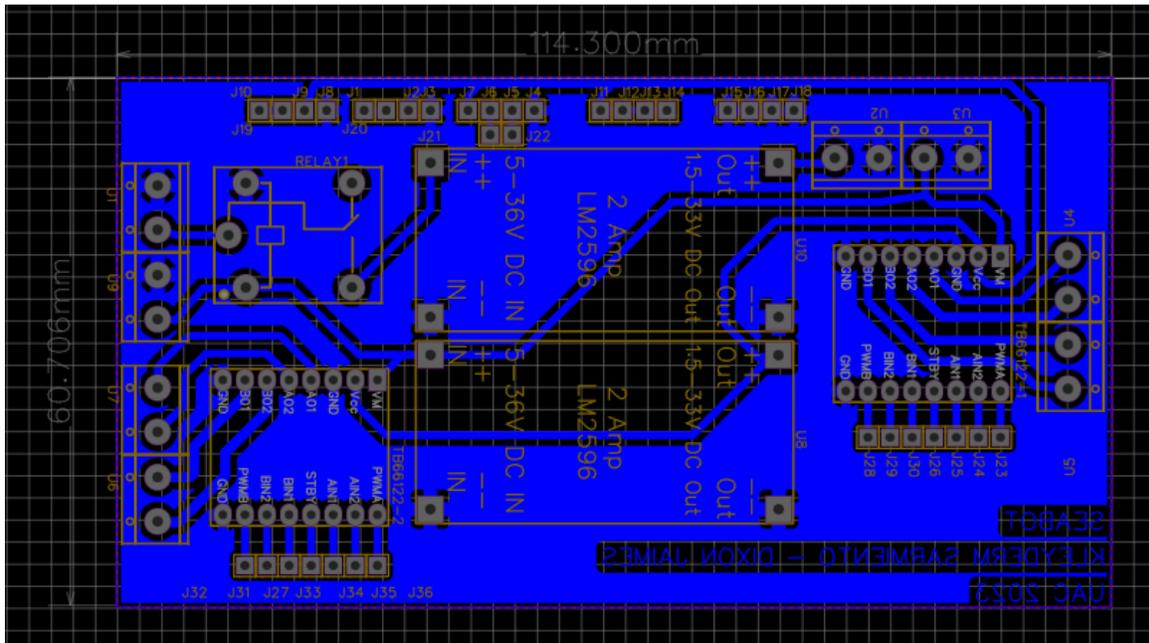


Figura 11. Ruteo de pistas PCB (propia autoría)

En la PCB se contempló: Borneras para la conexión de 2 Baterías, una de 6V para alimentar la Raspberry PI a 5.3V mediante reguladores LM2596, y otra de 12V para alimentar los drivers de los motores a 12V y el Arduino que soporta hasta 19V, esta batería también pasa por un regulador LM2596 para bajar a 5V alimentando servos y sensores.

La PCB cuenta también con un módulo Relays 12V que se enciende al activar el switch del prototipo dando el encendido de la Raspberry PI, 2 módulos de motores TB6612, pines de reserva a 5V, GND, salida para 2 servos y un sensor HC-SR04, T-blocks para la conexión de los motores y pines de entradas y salidas para conectar el Arduino con los instrumentos.

- Implementación

En esta etapa se realizó la construcción del robot, comenzando por los cascos que tienen su molde hecho en poliestireno expandido según los planos y luego fueron cubiertos por la fibra de vidrio, así mismo con la estructura para cubrir los elementos en la parte superior de los cascos, para ver a detalle la construcción del robot ir a la sección de [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..](#)



*Figura 12. Partes en fibra de vidrio (propia autoría)*

Una vez avanzada la estructura en fibra de vidrio, se comenzó con la integración de motores y servomotores al sistema, con masilla epoxica se realizaron las cunas para acomodar los motores de tal manera que el eje saliera de la estructura lo suficiente para permitirnos colocar una correa dentada y lograr la transmisión hacia las hélices, de la siguiente manera:



*Figura 13. Presentación de motores de propulsión (propia autoría)*

El mecanismo de propulsión se da mediante correas dentadas, el robot cuenta con dos motores que mediante las correas transmiten la energía cada uno a un eje montado sobre balinera que se encarga de girar la hélice.



*Figura 14. Mecanismos de transmisión en aspas (propia autoría)*

Para la implementación del software primeramente tomamos la Raspberry PI y cargamos S.O Raspbian 1.7.5 (Sistema Operativo original de la CPU), luego configuramos la herramienta OPEN CV la cual nos permite desarrollar aplicaciones con la cámara de visión de reconocimiento de objetos y ubicación.

La programación está basada en Python, en donde la Raspberry accede a la cámara conectada para capturar en video continuo las imágenes que el robot tenga en frente, a este video se le aplican filtros donde se busca distorsionar el fondo con el fin de enfocarnos en los objetos que no hacen parte del paisaje normal, para ello, debido a que el prototipo estará en su habitat natural que es el agua, resaltaremos la busque enfocada a los colores primarios R,G,B en gran tonalidad, que son colores provenientes de los desechos, una vez logramos la detección de objetos, el

siguiente paso fue partir la imagen que el robot captura en 13 partes diferentes, con el fin de saber el objeto en que ubicación está y dependiendo de la región en la que se encuentre saber si el robot debe girar hacia un sentido, o si debe avanzar más o menos rápido dependiendo de la distancia a la que se encuentre el objeto del centro, la siguiente imagen muestra cómo se fraccionó la imagen tomada por el robot la cual tiene un tamaño de 640\*680 pixeles:

SUPERIOR IZQUIERDA $0 \leq X \leq 160$ $0 \leq Y \leq 160$	CENTRO SUPERIOR IZQUIERDA $161 \leq X \leq 320$ $0 \leq Y \leq 160$	CENTRO SUPERIOR DERECHA $321 \leq X \leq 480$ $0 \leq Y \leq 160$		SUPERIOR DERECHA $481 \leq X \leq 640$ $0 \leq Y \leq 160$
IZQUIERDA $0 \leq X \leq 160$ $161 \leq Y \leq 320$	CENTRO IZQUIERDA $161 \leq X \leq 280$ $161 \leq Y \leq 320$	CENTRO $281 \leq X \leq 360$ $161 \leq Y \leq 320$	CENTRO DERECHA $360 \leq X \leq 480$ $161 \leq Y \leq 320$	DERECHA $481 \leq X \leq 640$ $161 \leq Y \leq 320$
INFERIOR IZQUIERDA $0 \leq X \leq 160$ $321 \leq Y \leq 480$	CENTRO INFERIOR IZQUIERDA $161 \leq X \leq 320$ $321 \leq Y \leq 480$	CENTRO INFERIOR DERECHA $321 \leq X \leq 480$ $321 \leq Y \leq 480$		INFERIOR DERECHA $481 \leq X \leq 640$ $321 \leq Y \leq 480$

Figura 15. Fraccionamiento de la imagen tomada por el robot (propia autoría)

Las divisiones realizadas en la imagen que entrega la cámara como lo muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, nos permite a nosotros saber la ubicación del objeto que estamos detectando con respecto al robot, es decir que si el centro del objeto que detectamos nos arroja una coordenada (500, 200) sabremos que el objeto se encuentra a la derecha del robot, es decir que este tiene que hacer un giro a la derecha hasta que el objeto quede dentro de las coordenadas correspondientes al segmento "CENTRO" es decir, cuando tengamos al objeto entre las coordenadas 281 a 360 en X y 161 a 320 en Y, podremos comenzar a navegar en línea recta hacia adelante sin que este salga de ese segmento hasta que simplemente no se vea en la cámara, con lo que se dará por realizada la tarea de recolección del objeto, logrando el objetivo y en seguida buscando un siguiente objeto para recoger.



Figura 16. Prueba de seguimiento y ubicación de Objeto en un entorno no controlado (propia autoría)

➤ Programación del Arduino y comunicación con la Raspberry PI:

Debido a las salidas de voltaje que entrega la Raspberry PI (3.3V), no se pueden comandar los drivers TB6612 para motores DC pues la entrada de los pines digitales es a 5V, por ende, realizamos una comunicación serial entre la Raspberry PI y el Arduino, quedando como maestra la Raspberry PI, encargadas cada una de las siguientes funciones:

Tabla 14. Funciones de cada controlador (propia autoría)

---

<b>CONTROLADOR</b>	<b>FUNCIONES POR REALIZAR EN EL ROBOT</b>
<b>Raspberry Pi</b>	Inicializar la cámara, capturar el video, buscar objetos y enviar por serial la ubicación del desecho a recoger teniendo en cuenta la dimensión, es decir que, si la cámara detecta un posible objeto flotante, pero en su contorno se da cuenta que el área es mayor a la capacidad de recolección este lo asume como un obstáculo y no intenta recogerlo, lo evita y sigue buscando desechos más pequeños.
<b>Arduino Uno</b>	Su función principal es interactuar con los actuadores y sensores del sistema, es quien recibe los datos del sensor ultrasónico y quien acciona los servomotores y los motores de las aspas, todo esto dependiendo de la comunicación serial con la Raspberry.  El Arduino inicia en una secuencia de navegación aleatoria por los sensores, navega en busca de objetos flotantes para recoger, mientras que la Raspberry no le envíe información de que ha detectado un objeto flotante, encenderá los motores y navegara aleatoriamente mientras detecte que no tiene objetos en frente que lo obstruyan, al momento de la Raspberry detectar un objeto flotante, esta le comunicará al Arduino por serial y el Arduino dependiendo de la ubicación que reciba ejecutará la acción de ir en esa dirección y la velocidad a la que debe ir(la velocidad del robot será proporcional a la distancia a la cual se encuentra el objeto que recogerá).

---

- Diagrama de flujo, programación del robot:

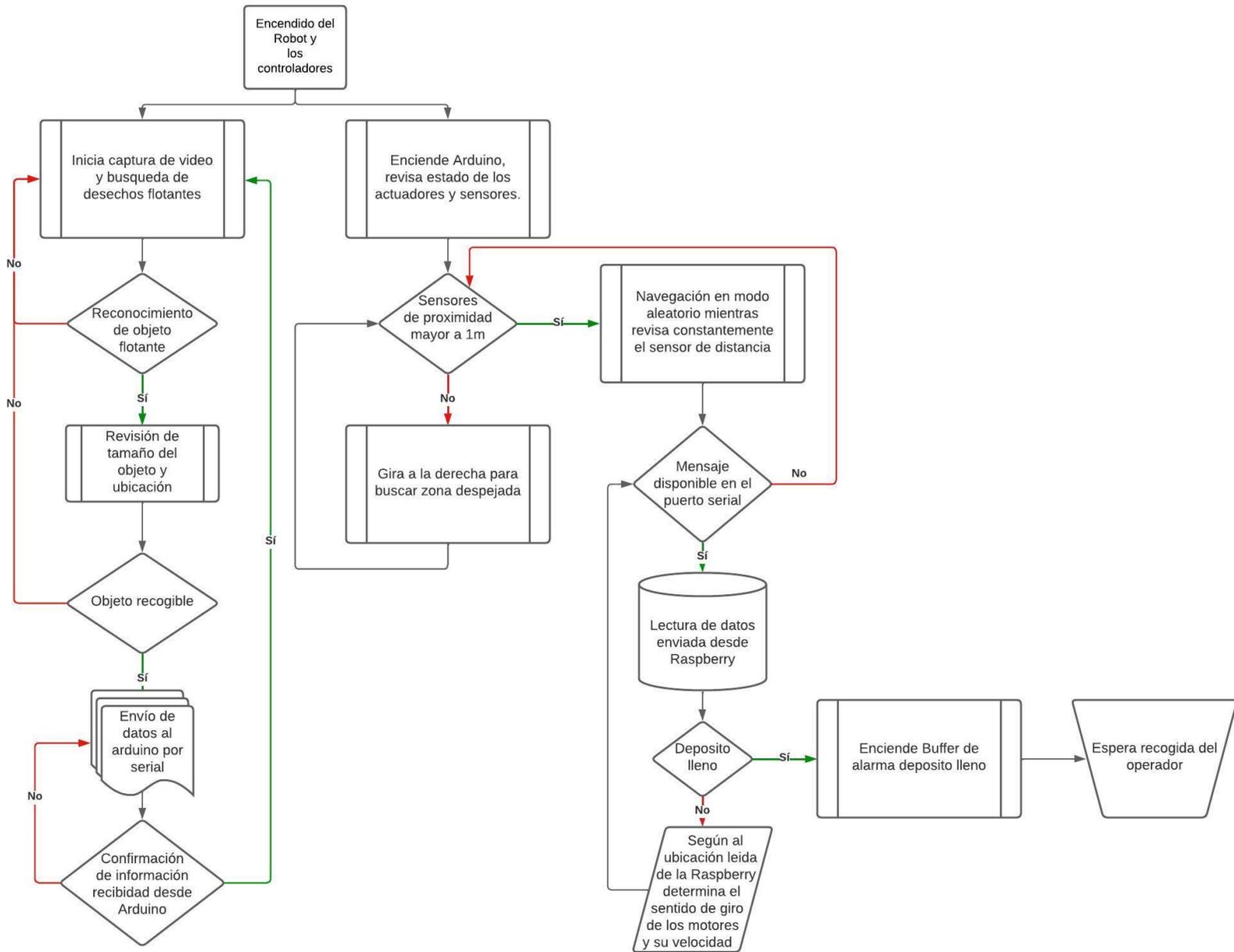


Figura 17. Flujo de programación SEABOT (propia autoría)

- Operación

Durante la operación se llevó el dispositivo a pruebas en entorno real, se hicieron pruebas en el Lago Del Cisne, obteniendo como primera acción de mejora la flotabilidad del robot, el oleaje del lago afectó en gran manera la flotabilidad del prototipo, así mismo el sellamiento de algunas partes que se vio comprometido y al ingresar agua a la estructura esta adquiere más peso, haciendo que el prototipo se hundiera un poco más de lo esperado.



*Figura 18. Pruebas piloto (propia autoría)*

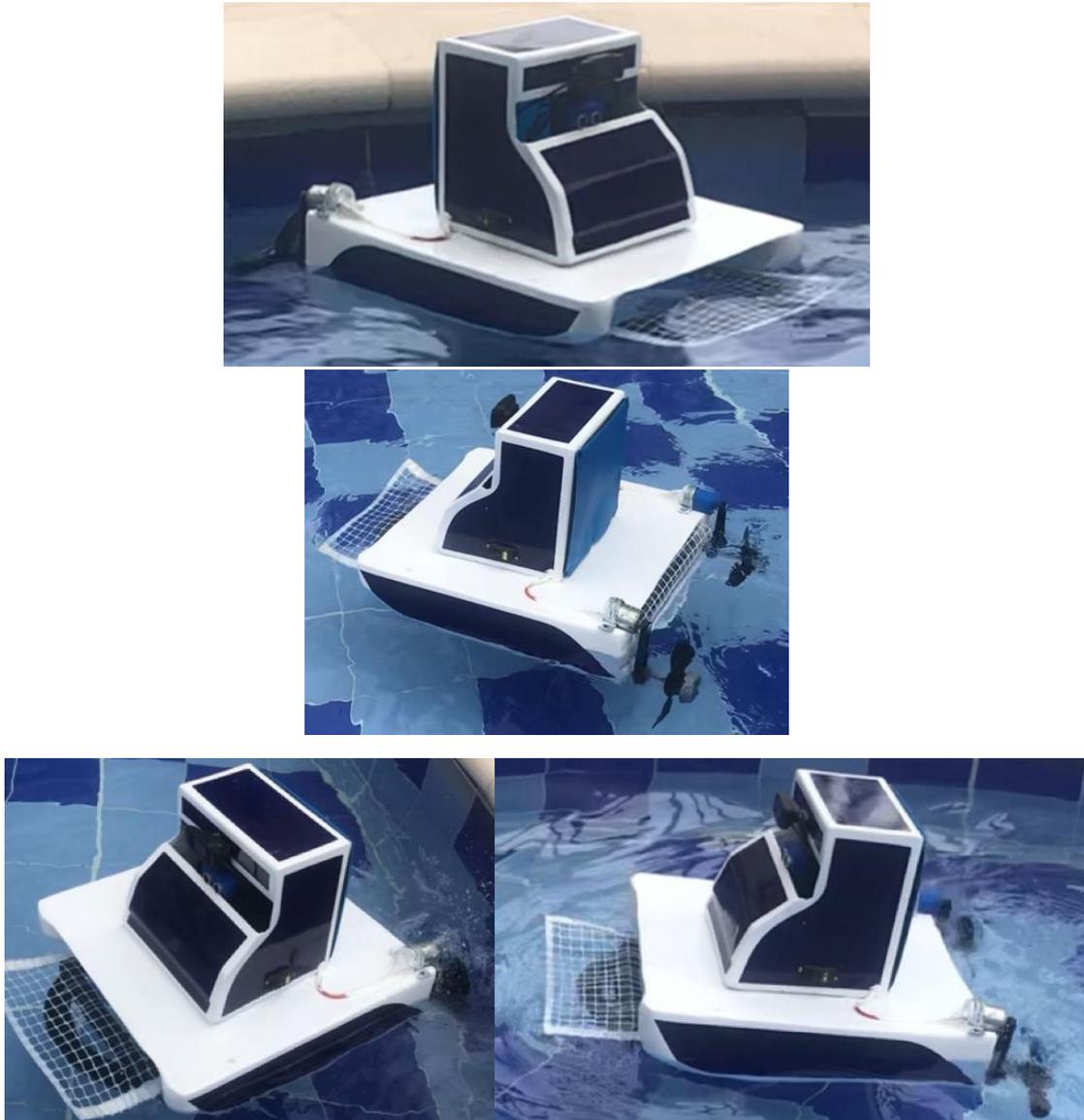
- Optimización

Para la optimización y con el fin mejorar la flotabilidad en el lago soportando el oleaje de la temporada se decidió agregar bolsas de aire debajo del robot, mediante neumáticos inflados alrededor de la estructura, sin comprometer el espacio del depósito de los desechos recolectados, como se muestra a continuación:



*Figura 19. Bolsas de aire agregadas en la base para mejor flotabilidad (propia autoría)*

### 6.3. DISEÑO DISPOSITIVO FINAL

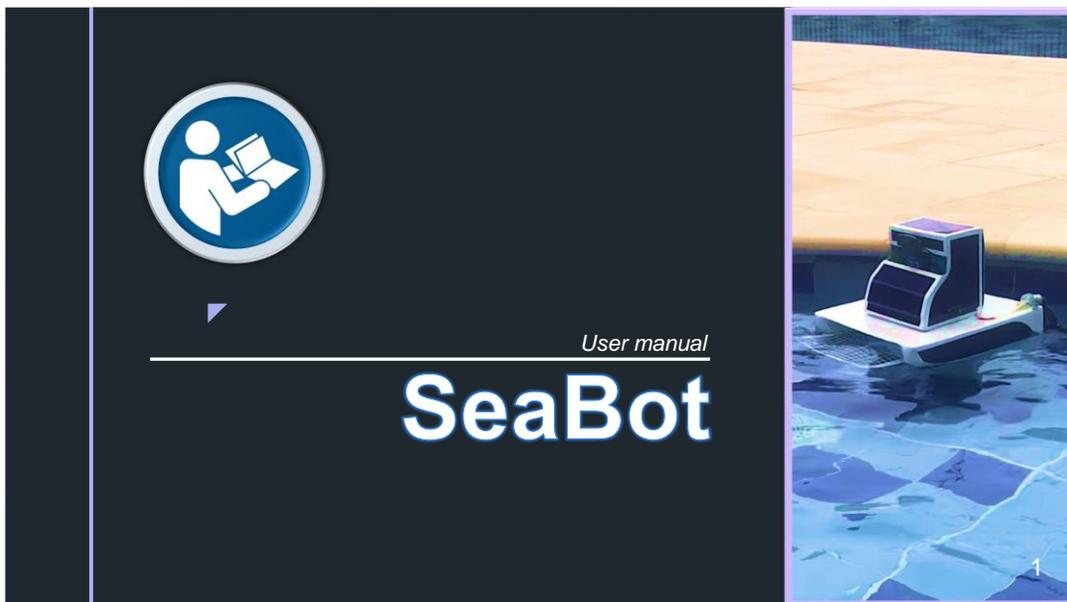


*Figura 20. Diseño final del dispositivo (propia autoría)*

#### 6.4. MATERIALES

- Raspberry Pi.
- Arduino Uno
- Motores 12VDC
- Servomotores MG95
- Cámara Web
- Poliestireno expandible
- Fibra de Vidrio
- Malla plástica
- Pintura
- Convertidores DC-DC LM295
- Drivers TB6612
- Cable #18AWG

#### 6.5. MANUAL DE USUARIO



Ver manual de usuario completo en el Anexo 6. Manual de usuario SEABOT

## CONCLUSIONES

Como resultado de este proyecto de investigación se logró obtener un USV de bajo coste sin superar los 500 USD en su proceso de diseño, fabricación y ensamble. Así mismo, fue una ventaja poder usar software y hardware libres tales como: RaspberryPi, SolidWorks, Arduino y EasyEda para el proceso de diseño del prototipo y programado de los componentes para el reconocimiento y recolección de los residuos sólidos flotantes.

Se pudo realizar el diseño del prototipo teniendo en cuenta dimensiones para su uso en lagos y piscinas. No es viable el uso del prototipo realizado en mares por su pequeño tamaño y baja resistencia al oleaje. El prototipo, además, no es a prueba de precipitaciones climáticas lo que limita su uso a condiciones climatológicas con cielos despejados.



*Figura 21. Prueba de flotabilidad del USV (propia autoría)*

Tal como se pudo apreciar en el desarrollo del trabajo, se logró fabricar el USV de acuerdo con el diseño 3D mostrado, usando la combinación de varios métodos de fabricación como: La impresión 3D, el laminado en fibra de vidrio, pintado en airless, Revelado en circuito impreso y la labor manual. Además de esto, se pudo programar el dispositivo RaspberryPi para el reconocimiento de objetos y la comunicación entre este y un controlador Arduino permitiendo la recepción de objetos flotantes contaminantes por medio de la visión artificial. Debido a variables como la disposición de elementos en el mercado y sus características, no se pudo emplear la compuerta movable como inicialmente se había planteado ya que los servomotores disponibles en el sector no tenían el torque suficiente para realizar la función y otros más grandes elevarían el consumo y por ende cambiarían las características generales del prototipo.

Para evolucionar el proyecto y como mejora sugerida, el USV se podría equipar con sensores para la medición de distintos parámetros del agua tales como: pH, salinidad, oxígeno disuelto, entre otros, para que al mismo tiempo que realiza el recorrido de reconocimiento, pueda recolectar datos del ambiente acuático en el que se encuentra. Otra posibilidad de mejora del prototipo es realizarlo completamente a prueba de agua teniendo en cuenta los costos de diseño y fabricación para que no se aleje del objetivo de ser de bajo costo. Y, por último, pero no menos importante, otra mejora podría ser la utilización de energías renovables como la solar o por medio de la electrolisis para brindar de mayor autonomía al dispositivo USV.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] EL HERALDO, «El heraldo digital,» 20 09 2022. [En línea]. Available: <https://www.elheraldo.co/barranquilla/estudio-alerta-sobre-contaminacion-en-el-lago-del-cisne-596825>. [Último acceso: 20 09 2022].
- [2] EL ÁGORA DIARIO, «La contaminación de los lagos refleja la actividad humana cercana,» 15 09 2021. [En línea]. Available: <https://www.elagoradiario.com/agua/contaminacion-plasticos-lagos-europa-actividad-humana/>. [Último acceso: 19 10 2023].
- [3] National Geographic España, «Interceptor: la nueva idea de The Ocean Cleanup contra el plástico,» 03 07 2022. [En línea]. Available: [https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/interceptor-nuevo-aliado-contra-plastico\\_14875#:~:text=El%20Interceptor%20es%20una%20soluci%C3%B3n,al%20d%C3%ADa%20en%20condiciones%20C3%B3ptimas..](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/interceptor-nuevo-aliado-contra-plastico_14875#:~:text=El%20Interceptor%20es%20una%20soluci%C3%B3n,al%20d%C3%ADa%20en%20condiciones%20C3%B3ptimas..)
- [4] THE FOOD TECH, «Algunos lagos están más afectados por los plásticos que las peores zonas de los océanos,» 13 julio 2023. [En línea]. Available: <https://thefoodtech.com/industria-alimentaria-hoy/algunos-lagos-estan-mas-afectados-por-los-plasticos-que-las-peores-zonas-de-los-oceanos/>. [Último acceso: 19 Octubre 2023].
- [5] iAgua, «Un estudio mundial detalla la contaminación por microplásticos en lagos y embalses,» 14 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/noticias/agencia-sinc/estudio-mundial-detalla-contaminacion-microplasticos-lagos-y-embalses>. [Último acceso: 19 Octubre 2023].
- [6] Republica.com, «¿Cuáles son los lagos más contaminados del mundo?,» 14 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.republica.com/quecomoquien/cuales-son-los-lagos-mas-contaminados-del-mundo-20130114-120018464/>. [Último acceso: 19 Octubre 2023].
- [7] Sprout Studios, «Draper: Microplastic-sensing Drone,» 26 01 2023. [En línea]. Available: <https://sprout.cc/work/projects/microplastic-sensing-drone/>.
- [8] RANMARINE, «WASTESHARK,» 31 10 2018. [En línea]. Available: <https://www.ranmarine.io/>.
- [9] J. C. FERNANDES ALEXANDER y J. D. J. SAENZ ALVARES , «ROBOT LIMPIA PLAYAS,» INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS- MEXICO, 2014.
- [10] J. O. Montoya Gómez, C. Pérez, E. Garnica, D. Salamanca y J. Simanca , «Diseño y construcción de un robot para limpieza acuática,» Épsilon: Iss 17, Bogotá - Colombia, 2011.
- [11] D. A. Cabas Torres, «Diseño y construcción de un prototipo USV para el reconocimiento y geoposicionamiento de residuos sólidos flotantes.,» Universidad Internacional de la Rioja (UNIR), 2019.

- [12] R. D. Cárdenas Rondan, «Diseño Preliminar De Un Sistema Teleoperado Para La Recolección De Residuos Sólidos Flotantes En Los Pantanos De Villa,» Pontificia Universidad Católica, Perú, 2020.
- [13] E. Cuatrecasas Schmitz y A. Duch Leira, «Sistemas de recolección de plásticos en el medio,» Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, Barcelona - España, 2021.
- [14] M. A. Meza Calderón y D. Y. Forero Quintero , «Diseño y Construcción De Un Robot Acuático,» Universidad Piloto De Colombia, Bogotá - Colombia, 2015.
- [15] W. O. Avila Parrado y C. A. Santos Novoa , «Algoritmos de cooperación para prototipos de robots acuáticos no sumergibles para la recolección de objetos flotantes,» Universidad Piloto , Bogotá - Colombia , 2016.
- [16] K. A. Ramirez Zavalza, «Robot Inteligente Recolector de Basura Asistido por Redes Neuronales Artificiales,» Benemérita Universidad Autónoma de Puebla , MEXICO., 2020.
- [17] G. Rosales Garcia, «Diseño De Un Dron Marino Para La Recogida De Residuos Plásticos,» Universidad de Valladolid, España, 2020.
- [18] J. A. Contreras Castillo, «Diseño y Construcción De Un Prototipo Recolector De Material Plástico Flotante En El Agua,» Universidad De La Salle , Bogotá - Colombia, 2014.
- [19] K. De la Torre Muña y J. G. Yufra Torres, «Diseño De Un Robot Móvil Recolector Y Compactador De Botellas De Plástico Utilizando Redes Neuronales En Playas Con Arena Fina,» Universidad Ricardo Palma, Perú, 2020.
- [20] COGNEX, «QUÉ ES LA VISIÓN ARTIFICIAL,» 16 09 2022. [En línea]. Available: <https://www.cognex.com/es-co/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision>.
- [21] Raspberrypi, «Raspberrypi.com,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=n5f06SotSx8>.
- [22] Towerpro, «towerpro.com.tw,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.towerpro.com.tw/product/mg995-robot-servo-360-180-rotation/>.
- [23] turnigy, «<https://turnigy.com/>,» 2023. [En línea]. Available: [https://hobbyking.com/en\\_us/turnigy-aerodrive-sk3-2826-980kv-brushless-outrunner-motor.html](https://hobbyking.com/en_us/turnigy-aerodrive-sk3-2826-980kv-brushless-outrunner-motor.html).
- [24] homecenter, «homecenter.com,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/411847/bateria-12v-7-ah12v-7ah/411847/>.
- [25] ECORFAN, «Revista de Tecnologías de la Información y Comunicaciones,» 19 03 2023. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.ecorfan.org/spain/researchjo>

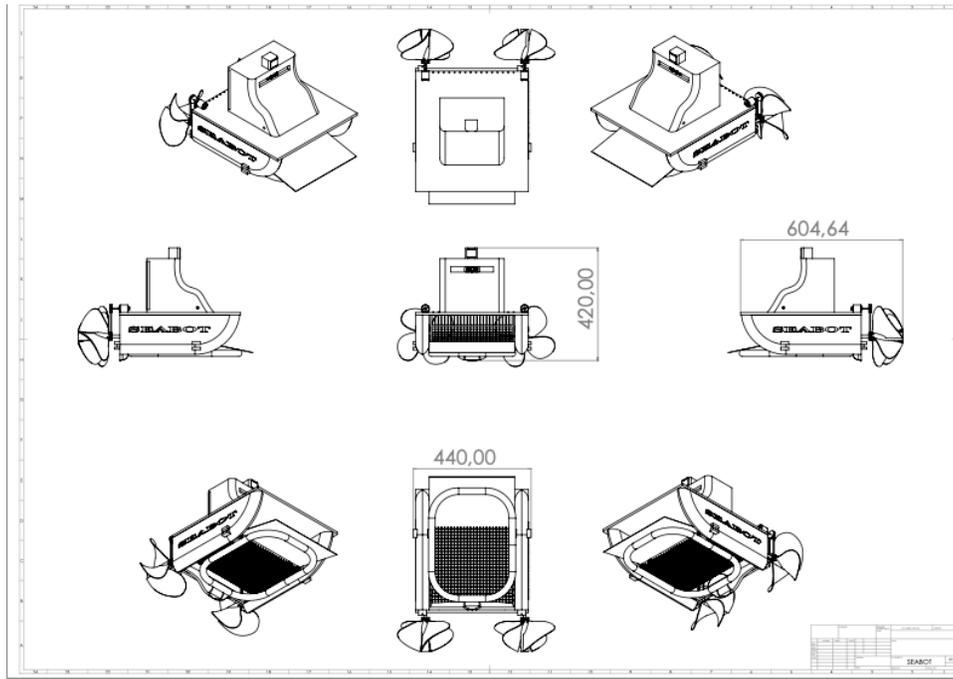
urnals/Tecnologias\_de\_la\_Informacion\_y\_Comunicaciones/vol2num5/Revista\_de\_Tecnologia\_de\_la\_Informacion\_y\_Comunicaciones\_V2\_N5\_2.pdf.

- [26] C. y. Multimedia. [En línea]. Available: Componentes y Multimedia SLU CIF B73347494.
- [27] M. SAC. [En línea]. Available: ©2021 Naylamp Mechatronics SAC.
- [28] SANDOROBOTICS. [En línea]. Available: © 2022 SANDOROBOTICS .
- [29] Mercadolibre. [En línea]. Available: Copyright © 1999-2023 MercadoLibre Colombia LTDA.
- [30] E. verde, «Ecología verde,» [En línea]. Available: <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-de-lagos-y-rios-causas-consecuencias-y-como-evitarla-1936.html#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADrica%20en%20r%C3%ADos,dificultando%20la%20vida%20en%20ella.> [Último acceso: 17 09 2022].
- [31] ONU, «La ONU lucha por mantener los océanos limpios de plásticos,» 12 04 2017. [En línea]. Available: <https://news.un.org/es/story/2017/05/1378771#:~:text=Para%202050%20habr%C3%A1%20m%C3%A1s%20pl%C3%A1sticos,las%20bolsas%20y%20las%20botellas..>
- [32] ONU, «Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente,» 21 10 2021. [En línea]. Available: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>.
- [33] E. HERALDO, «Reportan "abandono y deterioro" de Parque del Lago del Cisne,» 19 03 2023. [En línea]. Available: <https://www.elheraldo.co/atlantico/reportan-abandono-y-deterioro-de-parque-del-lago-del-cisne-960295>.
- [34] E. HERALDO, «Advierten sobre deterioro en Parque Lago del Cisne,» 19 03 2023. [En línea]. Available: [https://www.elheraldo.co/barranquilla/advierten-sobre-deterioro-en-parque-lago-del-cisne-901463?utm\\_source=ELHERALDO&utm\\_medium=articulo&utm\\_campaign=recirculacion&utm\\_term=relacionadobody](https://www.elheraldo.co/barranquilla/advierten-sobre-deterioro-en-parque-lago-del-cisne-901463?utm_source=ELHERALDO&utm_medium=articulo&utm_campaign=recirculacion&utm_term=relacionadobody).
- [35] Digitalbooks.com, «Gestión de redes telemáticas,» 19 03 2023. [En línea]. Available: <https://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/37922/book/OEBPS/Text/chapter1.html>.
- [36] GPASEABOTS, «SB100CLEANER,» [En línea]. Available: <https://www.gpaseabots.com/sb100-cleaner>.
- [37] Clear Blue Sea, «MEET FRED,» [En línea]. Available: <https://www.clearblueseas.org/meet-fred/>.

- [38] AQUAE FUNDACION, «La Isla de Basura del océano Pacífico,» 22 01 2021. [En línea]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/alarmante-aumento-de-la-isla-de-basura/#:~:text=El%20oc%C3%A9ano%20Pac%C3%ADfico%20es%20el,veces%20el%20tama%C3%B1o%20de%20Francia..>
- [39] National Geographic España, «10 curiosidades sobre los océanos,» 03 01 2023. [En línea]. Available: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/10-curiosidades-sobre-oceanos\\_15577](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/10-curiosidades-sobre-oceanos_15577).

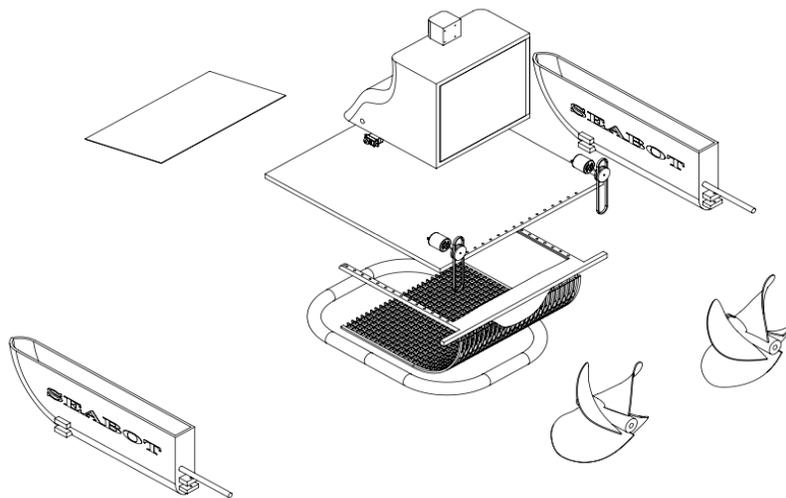
## ANEXOS

Anexo 1. Vistas del prototipo



(propia autoría)

Anexo 2. Despiece del prototipo.



(propia autoría)

*Anexo 3. Inicio construcción del robot*



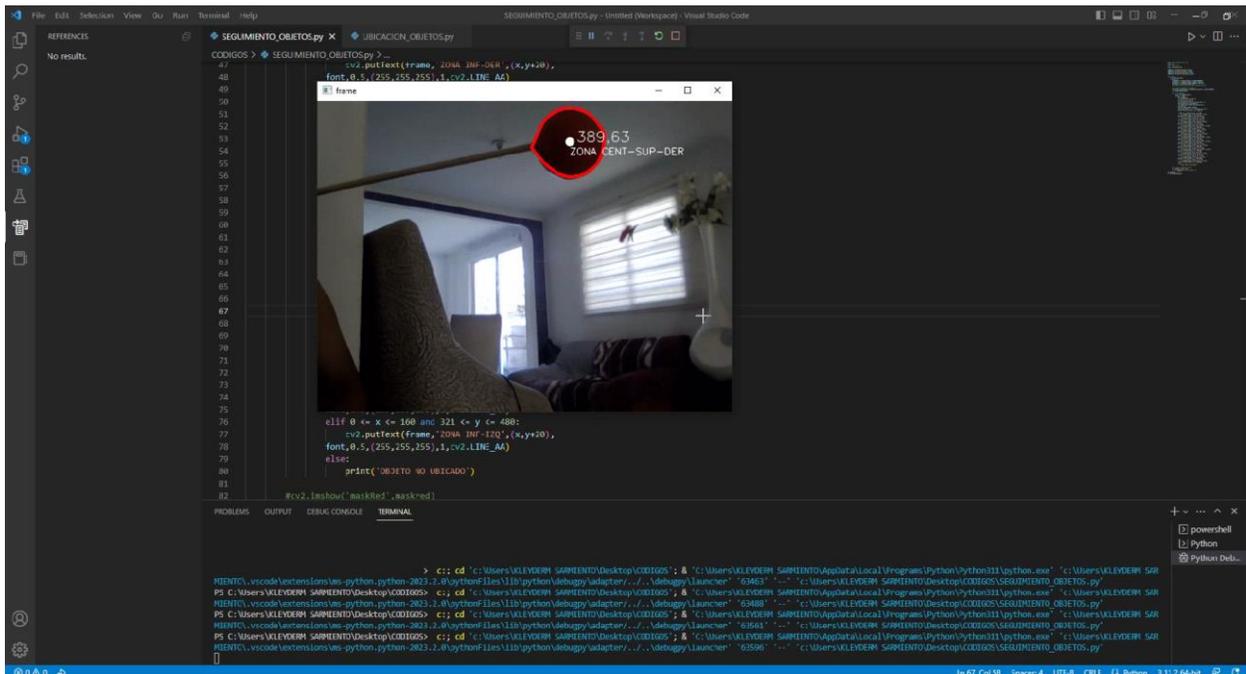
*(propia autoría)*

*Anexo 4. Procedimiento de recubrimiento en fibra de vidrio*



*(propia autoría)*

Anexo 5. Pruebas con entornos descontrolados del programa



(propia autoría)

Anexo 6. Manual de usuario SEABOT

1. Introducción.....	3
2. Requerimientos.....	4
3. Como usar el dispositivo.....	5
3.1. funcionamiento de software.....	5
3.2. explicación del funcionamiento.....	11
4. Lista de partes .....	12



**CONTENIDO**

2

Este manual contiene la información del correcto funcionamiento del proyecto **“ROBOT RECOLECTOR DE RESIDUOS SÓLIDOS EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SIN OLEAJE PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL”** el cual consiste en un prototipo que permite la recolección de manera autónoma de residuos solidos flotantes de mediano y pequeño tamaño, presentes en ciertos ecosistemas acuáticos guiado con visión artificial.



## INTRODUCCION

3

El dispositivo debe ser utilizado únicamente bajo las siguientes condiciones:

- Estado climatológico con cielo despejado y sin posibilidad de lluvia (las condiciones climatológicas para su funcionamiento deben ser verificadas con las entidades oficiales)
- El oleaje debe ser bajo/nulo.
- El compartimiento de almacenamiento debe estar vacío.
- Verificar que la cámara se encuentre centrada al eje horizontal del dispositivo.
- La batería debe estar completamente cargada.



## REQUERIMIENTOS

4



3.1.3 En esta parte se establecen los void

```
void adelante(){
  digitalWrite(moti,LOW);
  digitalWrite(motd,LOW);
}
void izquierda(){
  digitalWrite(moti,LOW);
  digitalWrite(motd,HIGH);
}
void derecha(){
  digitalWrite(moti,HIGH);
  digitalWrite(motd,LOW);
}
void off(){
  digitalWrite(moti,HIGH);
  digitalWrite(motd,HIGH);
}
```



COMO USAR EL  
DISPOSITIVO

7

### 3.1 Funcionamiento del software (python)

```
import serial
import time
import cv2
import numpy as np

ser= serial.Serial('/dev/ttyACM0',9600)
ser.flushInput()

while True:
  lineBytes = ser.readline()
  line = lineBytes.decode('latin-1').strip()
  dato = line

  while dato != 'listo':
    print ("En espera del arduino")

  mensaje = "listo".encode('latin-1')
  ser.write(mensaje)
  time.sleep(1)

  lineBytes = ser.readline()
  line = lineBytes.decode('latin-1').strip()
  dato = line

  while dato != 'tomarfoto':
    print ("En espera para tomar foto")

    image = cv2.imread("camera12.jpg")
    copia= image
    #Cambiar a escala de grises
    image=cv2.cvtColor(image,cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    #Desenfocar la imagen
    image=cv2.GaussianBlur(image,(9,9),0)

    #Detectar bordes
    image=cv2.Canny(image,50,100)

    #Deteccion de contornos
    (contornos, jerarquia)=cv2.findContours(image,cv2.RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    #Dibujando contornos
    copia=cv2.drawContours(copia,contornos,-1,(255,255,255),2)
```



COMO USAR EL  
DISPOSITIVO

8

```

##Detectando el centro
font=cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
pelota=0
for i in contornos:
    momento=cv2.moments(i)
    cx=int(momento['m10']/momento['m00'])
    cy=int(momento['m01']/momento['m00'])
    cv2.circle(copia,(cx,cy),3,(255,0,0),-1)
    cv2.putText(copia,"BALL "+str(pelota),(cx+10,cy+10),font,0.5,(255,0,0),2)
    pelota+=1

print(cx,cy)
##Comunicación con el Arduino
if 961 <= cx <= 1280 and 0 <= cy <= 240:
    mensaje = "zonasuper".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 961 <= cx <= 1280 and 241 <= cy <= 480:
    mensaje = "zonader".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 961 <= cx <= 1280 and 481 <= cy <= 720:
    mensaje = "zonainfer".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 641 <= cx <= 960 and 0 <= cy <= 240:
    mensaje = "zonacentsuper".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 540 <= cx <= 741 and 241 <= cy <= 480:
    mensaje = "zonacentro".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 742 <= cx <= 960 and 241 <= cy <= 480:
    mensaje = "zonacender".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 641 <= cx <= 960 and 481 <= cy <= 720:
    mensaje = "zonacentinfer".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

```



## COMO USAR EL DISPOSITIVO

9

```

elif 321 <= cx <= 640 and 0 <= cy <= 240:
    mensaje = "zonacentsuperizq".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 321 <= cx <= 539 and 241 <= cy <= 480:
    mensaje = "zonacentizq".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 321 <= cx <= 640 and 481 <= cy <= 720:
    mensaje = "zonacentinferizq".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 0 <= cx <= 320 and 0 <= cy <= 240:
    mensaje = "zonasuperizq".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 0 <= cx <= 320 and 241 <= cy <= 480:
    mensaje = "zonaizq".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

elif 0 <= cx <= 320 and 481 <= cy <= 720:
    mensaje = "zonainferizq".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

else:
    mensaje = "OBJETO NO UBICADO".encode('latin-1')
    ser.write(mensaje)
    time.Sleep(1)

```



## COMO USAR EL DISPOSITIVO

10

### 3.2 Explicación del funcionamiento

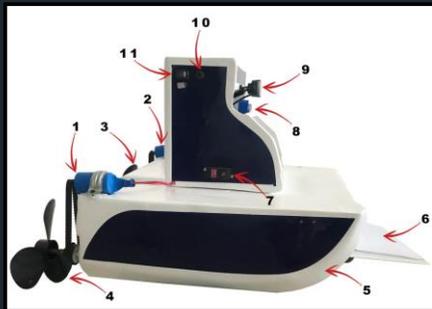
Una vez verificados los requerimientos preoperacionales (ver pagina 4) se debe ubicar el dispositivo con cuidado en la superficie acuática donde se va a poner en funcionamiento sin que el agua sobre pase el 75% de altura de los cascos; una vez realizado esto se procede a encender el dispositivo.

A continuación el dispositivo inicia un proceso de escaneo por medio de la cámara instalada en la parte frontal, realizando recorridos por el perímetro cercano una vez se haya detectado un objeto sólido este manda la orden a los motores para que se enciendan e impulsen el robot hacia la ubicación del objeto en el plano de la cámara, buscando que dicho objeto quede centrado para iniciar con la recolección del mismo, realizado esto la cámara inicia nuevamente un escaneo general para detectar el próximo elemento.



#### COMO USAR EL DISPOSITIVO

11



1. MOTOR DERECHO
2. MOTOR IZQUIERDO
3. ASPA DERECHA
4. ASPA IZQUIERDA
5. CASCOS

6. COMPUERTA / RAMPA DE INGRESO
7. SERVOMOTOR APERTURA/CIERRE COMPUERTA
8. SENSOR ANTICHOQUE
9. CAMARA WEB
10. CONECTOR HEMBRA DE CARGA
11. INTERRUPTOR ON/OFF



#### LISTA DE PARTES

12