

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA TELEOPERADO PARA LA  
RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS FLOTANTES EN LOS  
PANTANOS DE VILLA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO  
DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA  
MECATRÓNICA**

**AUTOR**

Richard Daniel Cárdenas Rondán

**ASESOR:**

Héctor Hugo Oscanoa Fernández

Lima, Julio del 2020

## RESUMEN

La presente investigación evalúa las causas de la contaminación del humedal “Los Pantanos de Villa”, además de obtener las características únicas del entorno para poder ofrecer una solución tecnológica con el fin de sustituir a la intervención humana y de maquinaria pesada en la limpieza de humedales. El objetivo principal es elaborar el diseño preliminar de un vehículo de limpieza teleoperado. Se utiliza la metodología VDI2206 de diseño mecatrónico, la cual involucra realizar un estudio del estado del arte de las tecnologías relacionadas a la limpieza de reservas de agua, proponer las funciones que realiza el sistema, diseñar tres conceptos de solución y seleccionar la solución óptima a partir de un análisis técnico-económico. Se desarrolla el sistema de manera preliminar estableciendo dimensiones generales, diagrama de módulos electrónicos y diagrama de operaciones del sistema. La solución consiste en un vehículo flotante modelo catamarán propulsado por dos motores sin escobillas, el vehículo recolecta residuos sólidos flotantes empleando una red de polietileno, comportándose el vehículo similar a una embarcación pesquera. El vehículo es controlado de manera remota usando módulos transceptores para la intercomunicación de datos y módulos FPV para la transmisión de video. Finalmente, se concluye que la presente solución, un vehículo marino a pequeña escala, cumple con los requerimientos principales de recolección, capacidad de desplazamiento y funcionamiento a radiocontrol. La solución propuesta es innovadora porque emplea únicamente energía eléctrica, cuenta con una capacidad de almacenamiento superior a otros equipos investigados y se caracteriza por poder monitorear el entorno empleando tecnologías de transmisión de video a distancia.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
INTRODUCCIÓN .....	1
Antecedentes .....	2
1.1. Problemática .....	2
1.2. Propuesta de solución .....	10
1.2.1. Alcance .....	10
1.2.2. Objetivos .....	10
1.3. Metodología de trabajo .....	11
Estado del arte .....	12
2.1. Fundamento teórico .....	12
2.2. Estado del arte.....	14
2.2.1. Modelos comerciales .....	15
2.2.2. Patentes .....	20
2.2.3. Trabajos de investigación.....	24
2.2.4. Artículos científicos .....	26
2.2.5. Componentes de vehículos marinos.....	27
Diseño Conceptual .....	47
3.1. Requerimientos del sistema .....	47
3.2. Determinación de estructura de funciones .....	51
3.2.1. <i>Black Box</i> .....	51
3.2.2. Estructura de funciones.....	52
3.3. Matriz morfológica .....	57
3.4. Conceptos de solución del sistema.....	63
3.4.1. Concepto de solución 1 .....	63
3.4.2. Concepto de solución 2 .....	65
3.4.3. Concepto de solución 3 .....	67
3.5. Evaluación de los conceptos de solución.....	70
3.5.1. Evaluación técnica .....	70
3.5.2. Evaluación económica .....	71
3.5.3. Solución optima .....	72

	Pág.
Diseño Preliminar.....	74
4.1. Diseño mecánico.....	74
4.1.1. Vehículo.....	74
4.1.2. Mando de control .....	78
4.2. Diseño electrónico .....	80
4.2.1. Vehículo.....	80
4.2.2. Mando de control .....	81
4.3. Diagrama de operaciones.....	82
CONCLUSIONES .....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Destino final de basura recolectada en el 2013 y 2014 .....</i>	2
<i>Figura 2. Residuos de Basura en la orilla del Titicaca .....</i>	4
<i>Figura 3. Estado de un sector del humedal en 2017 .....</i>	6
<i>Figura 4. Limpieza de residuos en Pantanos de Villa .....</i>	6
<i>Figura 5. Mapa de las áreas del humedal de Pantanos de Villa .....</i>	9
<i>Figura 6. Robot “WasteShark” acumula residuos en su interior.....</i>	15
<i>Figura 7. Vehículo Truxor con accesorios intercambiables .....</i>	16
<i>Figura 8. Proyecto Ro-Boat en funcionamiento .....</i>	17
<i>Figura 9. Maquina recoge variedad de residuos sólidos.....</i>	18
<i>Figura 10. Cinta recolectora con compuertas.....</i>	18
<i>Figura 11. Vista completa del sistema de la patente A.....</i>	20
<i>Figura 12. El sistema de patente A y sus 2 propulsores posteriores .....</i>	20
<i>Figura 13. Vistas del sistema de la patente B .....</i>	21
<i>Figura 14. Vista general del sistema de la patente C.....</i>	22
<i>Figura 15. Vistas del Diseño de plataforma .....</i>	24
<i>Figura 16. Diagrama del sistema mecatrónico submarino autónomo .....</i>	25
<i>Figura 17. Clasificación de los robots submarinos .....</i>	26
<i>Figura 18. Modelo de casco plano .....</i>	27
<i>Figura 19. Modelo de casco catamarán .....</i>	28
<i>Figura 20. Modelo de casco trimarán .....</i>	29
<i>Figura 21. Modelos de hélices.....</i>	31
<i>Figura 22. Un hidrodenslizador es propulsado por helice de aviación .....</i>	32
<i>Figura 23. Arreglo de timón en buques.....</i>	35
<i>Figura 24. Arreglo de timones en hidrodenslizadores.....</i>	35
<i>Figura 25. Arreglo transmisor-receptor enfocado al control naval .....</i>	37
<i>Figura 26. Drone con punto de acceso wifi.....</i>	40
<i>Figura 27. Módulo transmisor y receptor del sistema FPV .....</i>	41
<i>Figura 28. Diagrama de componentes para streaming por internet .....</i>	42
<i>Figura 29. Caja negra del sistema mecatrónico propuesto .....</i>	52
<i>Figura 30. Dominio mecánico del vehículo marino .....</i>	53
<i>Figura 31. Dominio mecánico del mando de control .....</i>	53
<i>Figura 32. Dominio de energía del vehículo marino .....</i>	53
<i>Figura 33. Dominio de energía del mando de control.....</i>	53
<i>Figura 34. Dominio de comunicaciones del vehículo marino .....</i>	54
<i>Figura 35. Interfaz de usuario del mando de control .....</i>	54
<i>Figura 36. Dominio de control del mando .....</i>	55
<i>Figura 37. Dominio de control del vehículo.....</i>	55
<i>Figura 38. Estructura de funciones integrada del sistema.....</i>	56
<i>Figura 39. Primer concepto de solución.....</i>	64
<i>Figura 40. Segundo concepto de solución.....</i>	66
<i>Figura 41. Tercer concepto de solución .....</i>	68
<i>Figura 42. Grafico técnico-económico de las propuestas de solución .....</i>	73
<i>Figura 43. Forma preliminar de la estructura del vehículo .....</i>	75
<i>Figura 44. Dimensiones generales preliminares .....</i>	76
<i>Figura 45. Disposición de componentes en el vehículo marino .....</i>	77

	Pág.
<i>Figura 46. Forma de la carcasa de acuerdo a ergonomía.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 47. Componentes y dimensiones preliminares del mando de control .....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 48. Arquitectura de hardware del vehículo marino .....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 49. Arquitectura de hardware del mando de control .....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 50. Diagrama de operaciones del sistema mando-vehículo teleoperado.....</i>	<i>82</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Cuadro comparativo de productos comerciales.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2. Cuadro Comparativo sobre Patentes investigadas .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3. Cuadro comparativo de cascos de embarcación.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4. Cuadro comparativo de sistemas de propulsión .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5. Cuadro comparativo de sistemas de direccionamiento .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 6. Cuadro comparativo de dispositivos de comunicación .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 7. Flechas indicadoras para cada concepto de solución .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 8. Matriz Morfológica del sistema propuesto.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 9. Cuadro comparativo de las soluciones propuestas.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 10. Evaluación Técnico-Económica de los 3 conceptos de solución .....</i>	<i>72</i>

## INTRODUCCIÓN

El presente documento abarca el diseño conceptual de un sistema teleoperado que cumple la función de recolectar residuos sólidos flotantes acondicionado para operar de acuerdo a las características del humedal “Los pantanos de Villa”.

El documento posee la siguiente estructura, en el capítulo 1 se presentan los antecedentes al proceso de diseño, el apartado inicia detallando la problemática presente sobre el humedal, la propuesta de solución, el alcance del proyecto, los objetivos y la metodología de trabajo.

En el capítulo 2 se presenta el fundamento teórico, en el cual se realiza una investigación sobre productos, proyectos y sistemas existentes que realizan la acción de limpieza en reservas de agua y afines. También se evalúan sistemas y dispositivos afines a los productos evaluados.

En el capítulo 3 se abarca el diseño conceptual de la solución para el problema encontrado, los requerimientos del sistema, desarrollo del diagrama de funciones, desarrollo de conceptos de solución y selección de una solución óptima a partir de un análisis técnico-económico.

En el capítulo 4 se desarrolla la solución preliminar obtenida, se presenta el modelo general, sus características y dimensiones generales, el modelo de conexiones electrónico y el diagrama operaciones del sistema.

En conclusiones se presentan los resultados de la investigación del humedal, así como detalles generales de las características del sistema diseñado.



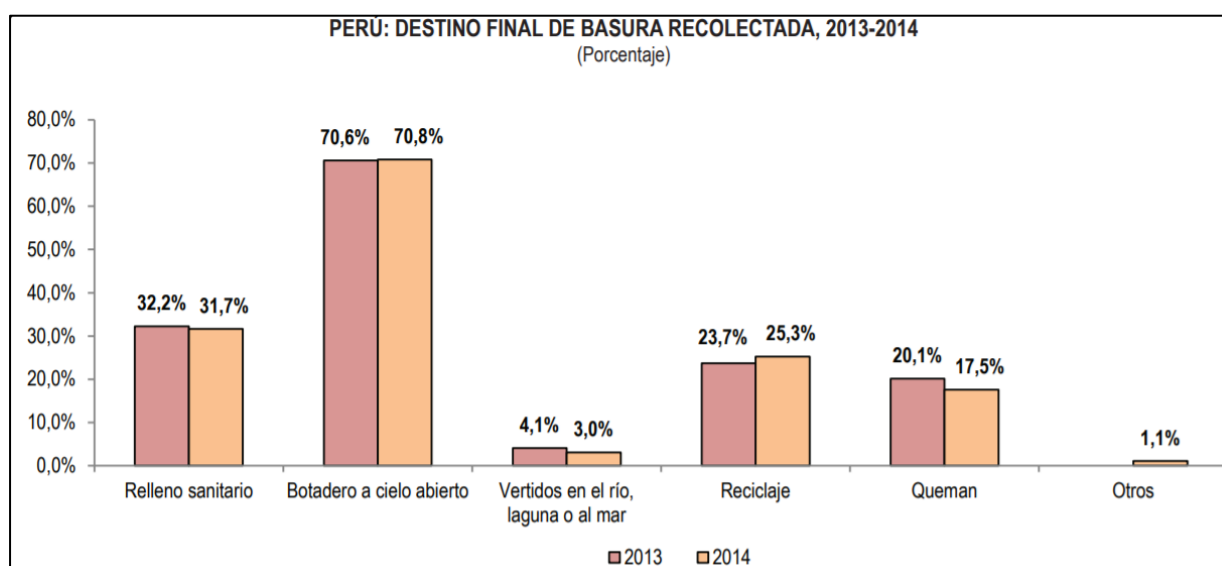
## Capítulo 1

### Antecedentes

En este capítulo se identifica la problemática de la contaminación por residuos sólidos de los humedales en el Perú con enfoque en “Pantanos de Villa”, se propone una solución para lo cual se establecen los objetivos del proyecto y el alcance previsto. Finalmente, se explica la metodología de trabajo para el desarrollo del sistema.

### 1.1. Problemática

La gestión de residuos sólidos en el Perú es un tema que interés. Según el INEI<sup>1</sup>, las estadísticas sobre el destino final de la basura recolectada que acabó siendo vertida en ríos, lagunas o el mar fue de 4,1% durante el 2013 y de 3,0% en el 2014 (Ver Figura 1). Un enfoque a Lima, Capital del Perú, indica que de 2 828 128 toneladas de basura generados durante el 2014, aproximadamente 84 400 toneladas han acabado en alguno de estos reservorios de agua (INEI, 2015).



**Figura 1. Destino final de basura recolectada en el 2013 y 2014**

Tomado de INEI, “Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015”

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Estadística e Informática

Los humedales son un tipo de reservorio de agua que constituye un ecosistema de gran productividad biológica y vegetal que constantemente se adapta a las condiciones de sus alrededores. Estos ecosistemas protegen sus alrededores de inundaciones y desastres naturales, almacenan CO<sub>2</sub> e incluso son fuente de agua dulce. La demanda de agua crece al mismo ritmo que la población, por lo que actualmente a lo largo del mundo se desarrollan medidas para mejorar el rendimiento y distribución del agua para el consumo humano, la agricultura y la energía. Al mejorar la distribución del agua y proteger el ecosistema de humedales, los suministros de agua pueden ser salvaguardados. (Wetlands International, 2019).

En el Perú existen trece humedales reconocidos como sitios Ramsar, denominación que se da a los ecosistemas incluidos en la “Lista de Humedales de Importancia internacional”. Además, según Sernanp<sup>2</sup>, diez de los trece humedales incluidos en la lista Ramsar se encuentran en nueve de las áreas naturales protegidas por el Estado. Algunos de estos son la “Reserva Nacional del Titicaca” y el “Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa” (SPDA, 2019).

El lago Titicaca es un lugar turístico en la sierra peruana con la característica de ser el lago navegable más alto del mundo, pero también es centro de atención porque en los últimos años el grado de contaminación se ha incrementado. En 2017 se reportó que las principales fuentes de contaminación de lago se deben a la basura que los pobladores arrojan a canales que desembocan en el lago (ver Figura 2), y a la minería ilegal que eleva el contenido de mercurio y plomo del agua, afectando a peces y anfibios. (El Comercio, 2017).

---

<sup>2</sup> Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado



**Figura 2. Residuos de Basura en la orilla del Titicaca**

*Tomado de El Comercio (2017), “Basura, plomo y mercurio: desoladora realidad del lago Titicaca”*

Existen medidas aplicadas para lidiar con el problema. En agosto del 2018 la “Agencia de Promoción de la Inversión Privada” (ProInversión) anunció una convocatoria para el proyecto de “Sistema de tratamiento de las aguas residuales de la cuenca del Lago Titicaca”. El proyecto contribuirá a la reducción de enfermedades causadas por aguas residuales, favorecerá a la reducción de la contaminación del lago Titicaca y promoverá el aumento de las actividades económicas como el turismo (El Comercio, 2018).

El caso de estudio principal recae en los Pantanos de Villa, que desde 1943 hasta el 2018 ha perdido 1 266 hectáreas de pantanos. Este humedal se encuentra en la capital del país, el alto crecimiento demográfico por el avance de las urbanizaciones ha llevado que limite con áreas privadas y urbanizaciones. En los últimos años se ha producido la acumulación de escombros y residuos alrededor del humedal en las zonas hidromórficas<sup>3</sup>, siendo interrumpido

---

<sup>3</sup> Hidromorfía: suelos con saturación en agua permanente o temporal que se reduce bajo ciertas condiciones ambientales.

el ciclo natural del humedal y transformando radicalmente el ecosistema de hidromórfico a seco (Arnaldoa, 2018).

Durante el 2017, en un sector del pantano, se detectaron 4 tipos de bacterias en el agua que son causantes de enfermedades, según la “Autoridad Municipal de los Pantanos de Villa” (PROHVILLA), las principales fuentes de contaminación son dos urbanizaciones de más de 500 familias cada una. Estas no tienen redes de alcantarillado y están en la “zona de amortiguamiento<sup>4</sup>” (ver Figura 3). Durante el 2015 también se registró la presencia de un botadero informal que crecía descomunadamente alrededor de la zona de amortiguamiento (Fernández, 2017).

De la información explorada, se identifica que sectores del humedal de Pantanos de Villa, principalmente las “zonas de amortiguamiento” y canales de riego, presentan contaminación por residuos sólidos. Ante esta situación se encuentran las siguientes medidas para combatirla.

PROHVILLA, junto con Sernanp se encargan de promover campañas de limpieza en colegios y realizan campaña contra desmontes a través de carteles a lo largo de la reserva. De igual manera se realiza eventualmente contrataciones a guardabosques cuyas actividades se dividen entre fomentar el turismo y limpiar el área protegida (SENARP, 2019).

La Municipalidad de Lima también contribuye en el cuidado del humedal, en 2019 publicó desde sus redes sociales haber realizado obras de limpieza en los pantanos de Villa, recolectando un total de 40 toneladas de residuos sólidos. Para esta actividad se utilizó maquinaria como palas cargadoras y camiones volquete (Ver Figura 4).

---

<sup>4</sup> Las zonas de amortiguamiento, son aquellos espacios adyacentes a las Áreas Naturales Protegidas que, por su naturaleza y ubicación, requieren un tratamiento especial que garantice su conservación



**Figura 3. Estado de un sector del humedal en 2017**

*Tomado de El Comercio web (2017), "Camal y botadero contaminan los Pantanos de Villa"*



**Figura 4. Limpieza de residuos en Pantanos de Villa**

*Tomado de Twitter (2019), Publicación de "MuniLima"*

Si bien se observa una mejora en la limpieza de residuos sólidos en tierra, no se cuenta con tecnologías para facilitar la limpieza de lagos o canales de riego. A continuación, se listan los problemas identificados sobre la reserva natural y sus características:

- Acceder al pantano con maquinaria pesada perjudica a la vegetación y los animales.

- Zonas del humedal resultan de difícil acceso para las personas, se vuelve necesario el uso de botes, los cuales son de difícil transporte.
- Existe peligro de agentes contaminantes en el lago, por lo que una persona no debería entrar sin equipo de protección.
- En el recorrido de agua existen canales tan estrechos como 1 metro y medio donde los botes difícilmente tienen acceso.
- A lo largo de la extensión del humedal (ver Figura 5) existen varias zonas, las áreas protegidas (perímetro verde), las áreas privadas (perímetro rojo), todos estos se encuentran dentro de la zona de amortiguamiento (líneas amarillas). El humedal igualmente cuenta con reservorios de agua (celestes) y canales de riego (líneas moradas).

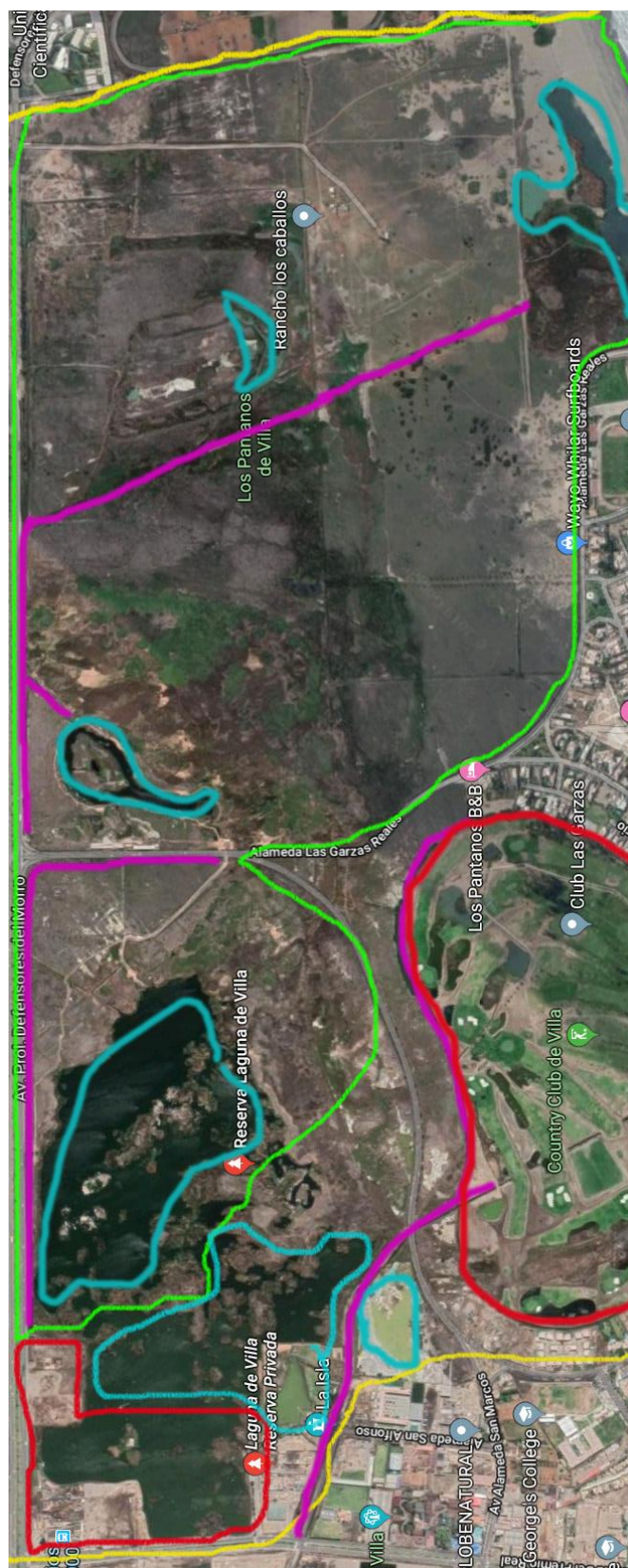
De igual manera, PROHVILLA brinda la siguiente información:

- Cuentan con 4 trabajadores exclusivos para la limpieza del área turística (5% del área natural), el área fuera de su jurisdicción es constantemente invadida o también se debe a que son propiedad privada, los residuos sólidos se acumulan en estos ambientes.
- Actualmente no cuentan con ningún tipo de maquinaria designada para limpieza de lagunas, el trabajo es plenamente manual.
- Es muy importante no perturbar a los animales al momento de hacer la limpieza de la zona.
- Los canales que interconectan lagunas de la reserva con lagunas exteriores se presentan tanto residuos sólidos y orgánicos, limpiar el área protegida no beneficia mucho si los canales traen nuevos contaminantes.

En conclusión, la situación de los humedales en el Perú es crítica, el nivel de contaminación aumenta debido a diversos factores, pero uno de los más importantes es el de los residuos sólidos. El foco de atención se centra en “Los Pantanos de Villa” el cual, pese a ser una reserva protegida que cuenta con recursos de mantenimiento y estudio de flora y fauna,

presenta casos de contaminación, además se presentan dificultades y limitaciones al momento de realizar labores de limpieza y mantenimiento al humedal. Es posible entonces plantear una solución tecnológica que sea capaz de lidiar con las necesidades identificadas.





*Figura 5. Mapa de las áreas del humedal de Pantanos de Villa*

Tomado de Google Maps, Refugio de vida silvestre Los Pantanos de Villa



## **1.2.Propuesta de solución**

Ante la problemática expuesta, se propone el diseño de un sistema de vehículo marino tele-operado que cuente con las características que le permitan desplazarse y recolectar residuos sólidos flotantes que se encuentren en lagunas y canales del humedal de “Los Pantanos de Villa”. Se utilizará la metodología VDI2206 para el diseño mecatrónico.

### **1.2.1. Alcance**

Este proyecto abarca el enfoque a los “Pantanos de Villa”, humedal que tiene sus propias características geográficas y geológicas. No se toma en cuenta la situación de otros humedales para delimitar características del sistema, tampoco se plantea la implementación del proyecto para otros reservorios de agua como ríos o mares.

De igual manera el sistema a diseñar se enfoca en realizar acciones donde maquinaria pesada no puede actuar por peligro a dañar sus alrededores o perturbar la vida silvestre. Finalmente, las acciones que realizará el robot son principalmente la navegación y recolección.

### **1.2.2. Objetivos**

El objetivo general es diseñar un sistema mecatrónico tele-operado con capacidad de desplazarse sobre un humedal y recolectar los residuos sólidos según el operador comande, estos residuos deberán ser debidamente almacenados para poder extraerlos fácilmente del vehículo. Los objetivos específicos planteados son:

- Definición de la problemática, recolectar información sobre humedales y los tipos de contaminación que presentan.
- Estudio de la tecnología, recolectar información sobre trabajos previos enfocados a la limpieza de lagos y humedales.
- Delimitar las características del sistema a través de una lista de requerimientos.

- Diseño conceptual de tres propuestas de solución del sistema vehículo-mando según la lista de requerimientos y selección del concepto óptimo.

### **1.3. Metodología de trabajo**

Se empleará la metodología VDI 2206 enfocada en el diseño mecatrónico. Sus etapas se describen a continuación:

- Establecer los requerimientos del sistema: Recopilación de información, revisar la tecnología actual, y a partir de las necesidades de la problemática establecer una lista de requerimientos del sistema.
- Elaborar el diseño conceptual: Describir el objetivo del sistema a través de, la caja negra (Black box) y estructura de funciones. Realizar una matriz morfológica, elaborar conceptos de soluciones y realizar evaluación para definir la mejor solución.
- Elaborar el diseño preliminar: Establecer las dimensiones generales del sistema y presentar sus características generales, elaborar la arquitectura del hardware del sistema y presentar el diagrama de operaciones.

## Capítulo 2

### Estado del arte

En este capítulo se establece información para aclarar conceptos sobre la materia como el significado de reserva natural de agua, concepto de residuos sólidos y partes de sistemas tele-operados. Dado lo establecido en el fundamento teórico, en el estado del arte se presentan: productos comerciales y proyectos que se dedican a la limpieza en reservorios de agua, patentes, proyectos de tesis, artículos de publicación, y finalmente subsistemas y mecanismos afines a proyectos de navegación y limpieza.

### 2.1.Fundamento teórico

Dada la problemática investigada, se encontró que el humedal “Pantanos de Villa” presenta contaminación por residuos sólidos del suelo y reservas de agua, siendo el segundo tipo de contaminación el que menos medidas de solución posee, a continuación, se presentan definiciones:

- Reserva natural de agua: incluyen todas aquellas masas de agua que se forman en cauces que están creada por procesos naturales. Estos incluyen lagos, ríos, embalses creados por procesos naturales o el agua subterránea.
- Los residuos sólidos, constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil. Se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo. Todos estos residuos sólidos, en su mayoría son susceptibles de reaprovecharse o transformarse con un correcto reciclado. Los residuos sólidos urbanos pueden clasificarse en varios tipos: biodegradables, reciclables, inertes, comunes y peligrosos. Muchos de estos residuos sólidos pueden ser reciclados para generar energía, es lo que se conoce como Biomasa.

Residuos orgánicos que flotan sobre lagunas y humedales deben ser recogidos para prevenir la eutrofización. (Inforeciclaje, s.f.).

- El Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa (RVSPV) está ubicado en el distrito de Chorrillos. Su extensión es de 263.27 hectáreas, equivalente a 2.63 km<sup>2</sup>. Las lagunas de Villa son salobres y están ubicadas en la margen izquierda de la parte baja del valle del río Rímac. Estas forman parte del sistema hidrológico del ramal Ate-Surco-Chorrillos y son alimentadas por la filtración de aguas procedentes de las partes más bajas del valle. Además, se encuentran a 35 metros debajo del nivel de la planicie de Chorrillos lo que facilita que diversos canales subterráneos de agua desemboquen allí. (Sernanp, 2019).
- Las lagunas del humedal varían de tamaño a lo largo del año, la profundidad puede variar entre los 10cm hasta los 200cm.
- Dada la extensión de la vegetación, existen áreas de difícil desplazamiento para los guardabosques o turistas, el área turística se encuentra acondicionada para realizar recorridos y cuenta con miradores, no obstante, los Pantanos de Villa se caracterizan por ser llano en toda su extensión.

La propuesta de solución para la problemática identificada es el diseño de un sistema de vehículo marino tele-operado para la recolección de residuos sólidos flotantes. Se establecen los siguientes aspectos para el desarrollo adecuado de estudio de tecnologías en el “Estado de Arte”:

- Un vehículo marino es aquel vehículo que puede desplazarse sobre el agua.
- Un sistema teleoperado implica el control de robots a distancia. Dada la naturaleza de la problemática, el robot a controlar será un vehículo marino.
- Las partes de un robot se dividen en armazón, sensores, actuadores y tarjeta de control.
- El armazón de un vehículo marino es conocido como “casco”.

- Los actuadores a implementar deben tener la función de propulsar y dirigir el sistema.
- Adicionalmente el vehículo robótico debe cumplir con la función de recolección de residuos sólidos.
- Los sensores apoyan a tener un desenvolvimiento adecuado del sistema, dado que el humedal es una zona plana, de difícil movilización y con pocas áreas para la observación será necesario un sistema que facilite la visión del área de trabajo para el operador.
- La teleoperación implica el uso de tecnología para el control de un dispositivo a distancia.

## **2.2. Estado del arte**

En este apartado se realiza una recopilación de tecnologías que cuentan con características para solucionar aspectos de la problemática planteada, igualmente se hace una recopilación de sistemas que realizan funciones que la solución propuesta puede poseer como característica. Se muestran a continuación tecnologías e investigaciones, tales como productos comerciales existentes, patentes, proyectos de tesis y sistemas. Al final de cada punto se encuentra un cuadro comparativo.

### 2.2.1. Modelos comerciales

En esta sección se presentan productos comerciales con características para cumplir con la función de recolectar residuos sólidos flotantes en superficies marinas. Se presentan soluciones de pequeña y gran escala que ayudan a evaluar el estado de la tecnología actual.

#### a. Drone Marino “WasteShark” (RANMARINE TECNOLOGY, 2020)

El “WasteShark” es un drone marino comercial diseñado por *RanMarine Technology* (Ver Figura 6) diseñado para recolectar residuos flotantes en el mar. Puede operar de 6 a 8 horas por carga. Puede almacenar hasta 160 litros de residuos por viaje, incluye plásticos, micro plásticos, aceites y plantas que plagan el mar. El robot está diseñado en 2 modelos, a control remoto y autónomo, teniendo un costo de 17000 y 23000 dólares respectivamente. A continuación, se presentan las especificaciones del modelo a control remoto:

- Distancia de control: 3km
- Rendimiento de limpieza: 1000 m<sup>2</sup>/h
- Dimensiones: longitud de 161 cm, altura de 46 cm y ancho de 114 cm.
- Propulsión: 3 propulsores eléctricos de 4.1 kg-f.
- Velocidad: 4 nudos equivalente a 2.05 m/s.
- Tiempo de operación: 6 a 8 horas.
- Peso: 45 kg sin carga



**Figura 6.** Robot “WasteShark” acumula residuos en su interior

Tomado del sitio web WasteShark, propiedad de RanMarine Technologies

b. Máquina Anfibia Truxor (Dorotea Mekaniska AB, 2020)

Este producto es una máquina multifuncional anfibia con una amplia gama de accesorios (Ver Figura 7). Puede acceder a zonas de difícil acceso para máquinas convencionales. Es una solución para trabajar en lagos, ríos y humedales. La pequeña presión sobre el suelo y la capacidad de flotar de la máquina ofrecen oportunidades en entornos sensibles. Se puede realizar tareas como cortar y recoger cañaverales, excavar, limpiar residuos sólidos o incluso derrames de petróleo.

Es un modelo de gran escala, el operador de la máquina se encuentra montado encima de esta, el vehículo funciona utilizando un tanque de gasolina. A continuación, se listan algunas características de este producto:

- Velocidad máxima: 100m/min
- Peso: 1390kg
- Carga máxima: 250kg
- Material: Acero galvanizado y aluminio resistente al agua salada.
- Método de desplazamiento: Oruga de paletas.



**Figura 7. Vehículo Truxor con accesorios intercambiables**

*Tomado del sitio web de Truxor, propiedad de Dorotea Mekaniska AB*

c. Robot limpiador de ríos “RO-BOAT” (Omnipresent Robot Tech, 2020)

Un prototipo diseñado para continua limpieza autónoma de ríos en la India. El producto es un pequeño bote no tripulado que puede navegar por el río a través de un dispositivo GPS y sensores (Ver figura 8). Está equipado con cámaras y posee capacidad de análisis para detectar contaminantes como plásticos, químicos y metales pesados. Adicionalmente es capaz de filtrar el agua a través de un dispositivo succionador para remover contaminantes plásticos. Se listan algunas de sus características:

- Capacidad de carga de 5kg de materia.
- Capacidad de almacenamiento de 20kg de materia.
- Diseño de la pala excavadora permite levantar variedad de objetos y diferentes tamaños.
- Propulsión por aire, mejora el tiempo de vida y reduce costo de mantenimiento.
- Maniobrabilidad a través de doble timón para menor radio de giro.
- Cámara HD para detección de objetos.



**Figura 8. Proyecto Ro-Boat en funcionamiento**

*Captura de youtube, propiedad de Omnipresent Robot Tech*



d. Máquina flotante recogedora de basura (Cleantec Infra, 2020).

- Recolecta basura y otra variedad de residuos flotantes como plásticos, botellas, desechos orgánicos, etc. (Ver figura 9).
- Cuenta con compuertas a ambos lados del cabezal de recolección que guían el material hacia el transportador y luego se cierran para atrapar el material (Ver figura 10).
- Una faja transfiere los desechos al área de almacenamiento en la máquina, después de lo cual, una faja de descarga transfiere los desechos a un camión designado.
- La capacidad de almacenamiento varía de 10 a 20 metros cúbicos.
- Puede realizar de 15 a 20 recorridos por carga de combustible.



**Figura 9. Máquina recoge variedad de residuos sólidos.**

*Tomado del sitio web de Cleantec Infra*



**Figura 10. Cinta recolectora con compuertas**

*Tomado del sitio web de Cleantec Infra*

En la tabla 1 se realiza una comparación de productos comerciales y sus características, tales como el sistema de recolección, método de operación, energía, carga del recolector, capacidad y duración estimada.

**Tabla 1. Cuadro comparativo de productos comerciales**

<b>Producto</b>	<b>Sistema de recolección</b>	<b>Método de Operación</b>	<b>Energía</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Duración</b>
WasteShark	Canastilla	Autónomo y teleoperado	Eléctrica	0.16 m <sup>3</sup>	8 horas
Maquina Anfibia	accesorios varios (intercambiables)	Manual	Combustible	150 kilogramos	8 horas
RO-BOAT	Pala excavadora	Autónomo por GPS	Eléctrica	20 kilogramos	24 horas
Recogedora de basura	Compuertas y faja transportadora	Manual	Combustible	20 m <sup>3</sup>	20 circuitos

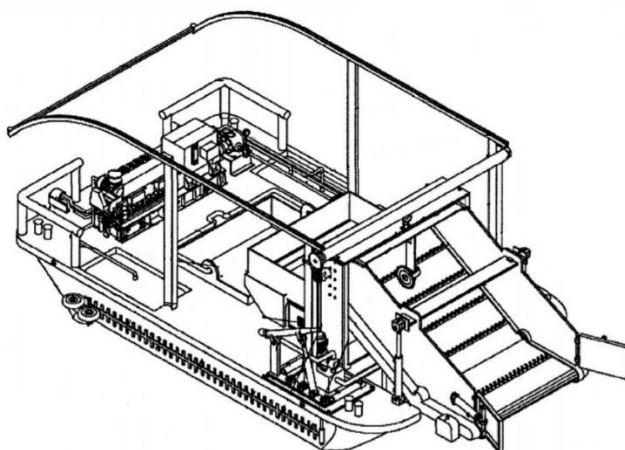
De la información recolectada, se observa que los vehículos a combustible cuentan con mayor capacidad que los vehículos eléctricos, sin embargo, tienen una fuente de energía de costo elevado y no renovable. Se observa que entre los vehículos eléctricos se puede establecer un límite de carga en volumen o en peso dependiendo del diseño. El WasteShark no carga los residuos sólidos, sino que los arrastra ya que flotan sobre el agua, por su parte el RO-BOAT si carga residuos con una pala cargadora.

### 2.2.2. Patentes

En esta sección se evalúan patentes registradas de soluciones tecnológicas propuestas para realizar operaciones de limpieza sobre superficies marinas.

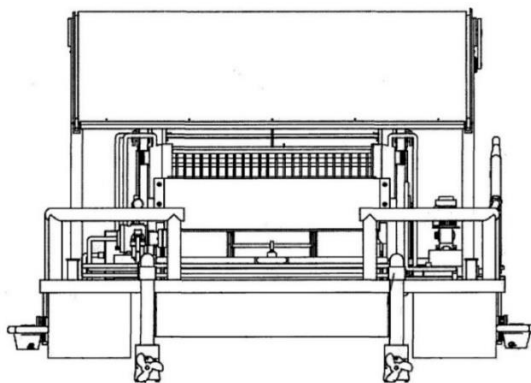
#### a. *Water Surface garbage cleaning ship* (China Patente nº CN102020004B, 2013)

Inspirado en un Catamarán, cuenta con sistemas de navegación, detección, recolección y descarga (Ver Figura 11). El sistema de propulsión de la patente (Ver Figura 12) está conformado por dos propulsores de hélices colocados en la parte posterior de los cascos. El sistema detecta en la superficie los residuos y navega directamente a ellos. Es más rápido y eficiente que botes normales. El método de recolección es el de cinta transportadora.



**Figura 11. Vista completa del sistema de la patente A**

*Tomado del documento de la patente “Water Surface garbage cleaning ship”*

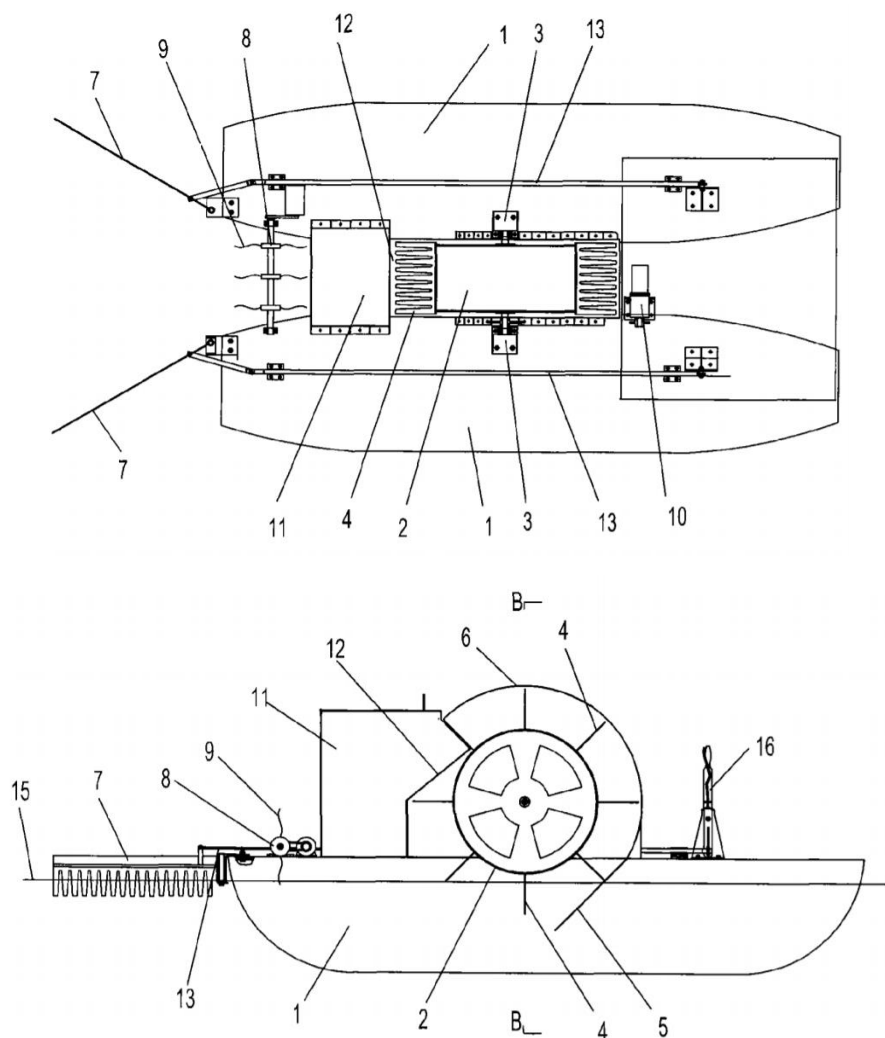


**Figura 12. El sistema de patente A y sus 2 propulsores posteriores**

*Tomado del documento de la patente “Water Surface garbage cleaning ship”*

b. *Water surface solid rubbish cleaning vessel* (China Patente nº CN201158816Y, 2008)

Este modelo de patente está inspirado en un catamarán, el cual cuenta con 2 cascos paralelos (Ver figura 13). Este diseño se enfoca en la limpieza de partículas pesadas y residuos pequeños. Mediante placas-compuerta dirige los residuos dentro del sistema, los sólidos más grandes se acumulan en un tanque recolector (11) mientras que el agua fluye hasta la zona donde un filtro de tambor rotatorio (8) captura las partículas más pequeñas y las almacena en el mismo contenedor, pero a través de otra puerta de ingreso (12). El sistema no especifica el modelo de propulsión, pero reserva un área en la parte posterior para que sea instalado.



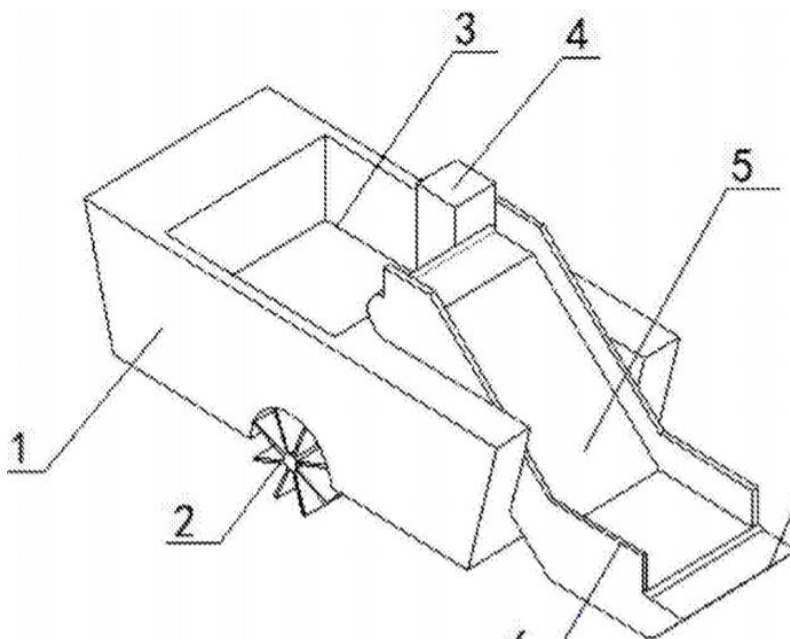
**Figura 13. Vistas del sistema de la patente B**

*Tomado del documento de la patente "Water surface solid rubbish cleaning vessel"*

- c. *Automatic clearing boat of lake surface duckweed* (China Patente n° CN205256599U, 2016)

Este modelo “Bote automático limpiador de hierbas acuáticas en lagos” entra en el ámbito de tecnologías de protección ambiental (Ver Figura 14). El sistema está conformado por un casco (1), una fuente de propulsión (2), el contenedor (3), la unidad de control (4), una faja transportadora hecha de malla (5) y el dispositivo de timón ubicado en la parte posterior del vehículo.

El funcionamiento de este bote está pensado a control remoto, cuenta además con una cinta recolectora que junto con herramienta de corte facilitarían el corte de las plantas, de igual manera el sistema de propulsión está diseñado para ser por ruedas de paleta y se encuentra aislado dentro del casco.



**Figura 14. Vista general del sistema de la patente C**

En la tabla 2 se presenta el cuadro comparativo de las patentes investigadas, algunos aspectos que se destacan son: el tipo de sistema diseñado, el método de propulsión, el tipo de armazón, el método de recolección y la capacidad de recolección, siendo esta última una aproximación según las imágenes del concepto.

**Tabla 2. Cuadro Comparativo sobre Patentes investigadas**

<b>Patente</b>	<b>Tipo</b>	<b>Propulsión</b>	<b>Armazón</b>	<b>Sistema de recolección</b>	<b>Capacidad</b>
<b>A</b>	Sistema autónomo	Doble propulsor de hélice	Casco catamarán	Cinta transportadora	15% del tamaño del sistema
<b>B</b>	Sistema teleoperado	-	Casco catamarán	Compuertas y filtro de tambor rotatorio	30% del tamaño del sistema
<b>C</b>	Sistema teleoperado	Rueda de paletas	Armazón convencional	Cinta transportadora	25% del tamaño del sistema

De las patentes investigadas, se observa que los vehículos tele-operados cuentan con un diseño simple y mayor capacidad según se puede observar en la imagen del concepto. El sistema autónomo de la patente “a”, si bien es de utilidad, debido a las múltiples funciones que se proponen, se ocupa mucho espacio del cuerpo del vehículo, por lo que tiene poca capacidad. Se observa que el modelo de casco catamarán es usado para reducir el peso total de la maquina dar mayor maniobrabilidad al vehículo.

### 2.2.3. Trabajos de investigación

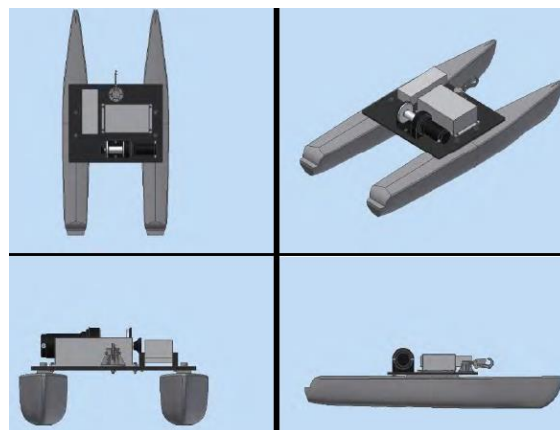
A continuación, se presentan documentos de alumnos de la PUCP que investigaron y diseñaron dispositivos submarinos, estructurando su diseño en diversos subsistemas.

a. Diseño de plataforma de acople y MINIROV para vehículos marinos (Chávez, 2017)

Esta tesis ofrece información pertinente sobre la evolución de los vehículos submarinos, sus dimensiones, su peso y sus velocidades de trabajo. El autor divide la estructura de este sistema en componentes fundamentales como:

- Marco: La estructura de montaje
- Sistema de flotación: componentes que mantienen a flote el sistema
- Sistema de propulsión: para impulsar el vehículo
- Fuente de energía: para energizar el sistema
- Indicadores, sensores y actuadores: instrumentos del sistema

En la figura 15 se presenta el modelo 3D, el cual es un dispositivo flotante que carga los componentes mecánicos y electrónicos auxiliares al sistema principal. La protección del sistema electrónico contra el agua se basa en diseñar una capsula de acrílico sellada usando una brida de aluminio ionizado, un buen material para trabajo en agua salada.



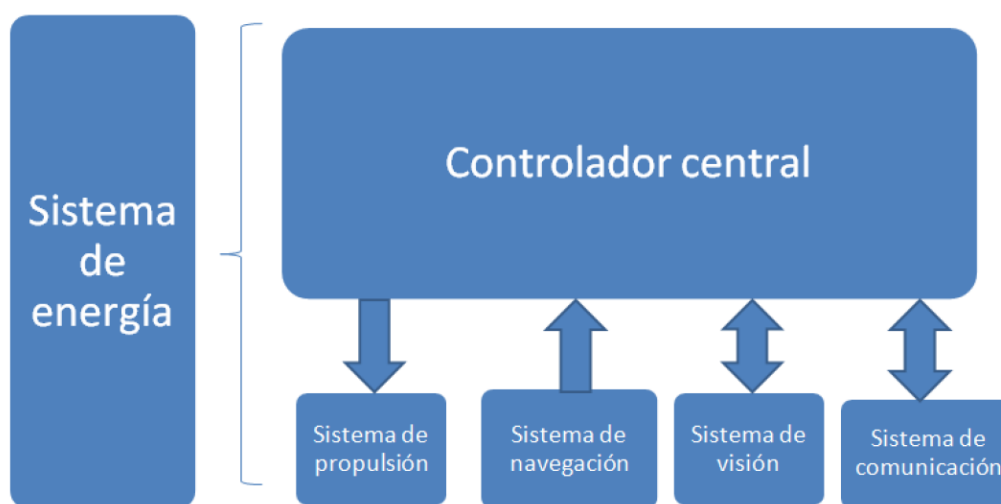
**Figura 15. Vistas del Diseño de plataforma**

*Tomado del documento de tesis (2017) "Diseño de plataforma de acople y MINIROV"*

b. Diseño de un Vehículo Submarino Autónomo (Granados, 2014)

Este trabajo de tesis contempla el diseño de un sistema mecatrónico autónomo. El aspecto de interés de este diseño es la forma de dividir el sistema general en subsistemas bien diferenciados (Ver Figura 2.16). Los subsistemas de mayor importancia reconocidos son: El sistema de energía, sistema de propulsión, sistema de comunicación, sistema de navegación y el controlador central.

El “sistema de energía” consiste en aquellas fuentes y dispositivos reguladores que suministran energía tanto a dispositivos de baja como de alta potencia. El “sistema de propulsión” ejerce el empuje que se requiere para el movimiento de su vehículo. El “sistema de navegación” se encarga de la trayectoria del sistema, en este modelo autónomo se asume que el sistema de navegación recolecta información sobre la posición del vehículo. El “sistema de comunicación” permite asignarle parámetros al vehículo de manera remota para que este pueda ejecutar comandos de acción. Finalmente, el autor define al controlador central como aquel que recolecta información y se comunica con los otros subsistemas.



**Figura 16. Diagrama del sistema mecatrónico submarino autónomo**

*Tomado del documento de tesis (2014) “Diseño de un Vehículo Submarino Autónomo”*

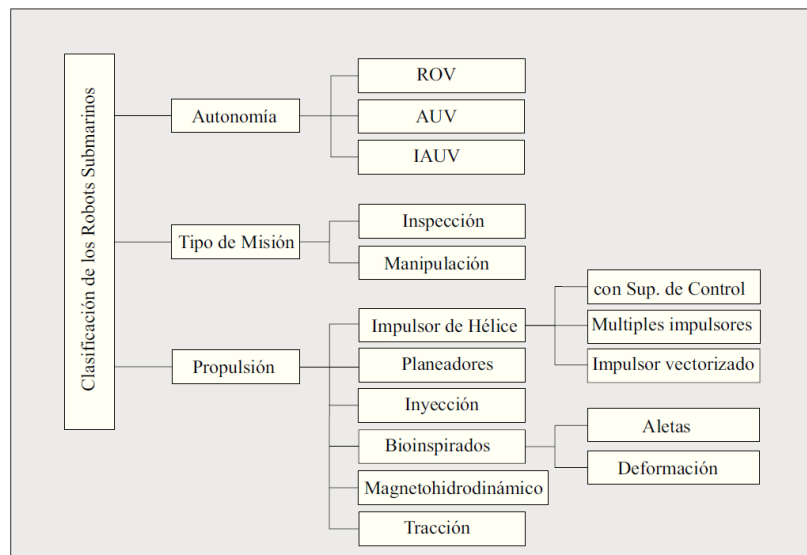


### 2.2.4. Artículos científicos

En esta sección se presenta un artículo científico que trata temas relacionados al manejo de robots en ambientes submarinos, pero también resulta útil para el diseño de vehículos marinos no sumergibles.

#### a. Robótica Submarina (Moreno, Saltarén, & Puglisi, 2014)

En este artículo se brinda información sobre la clasificación de los robots submarinos y sus componentes principales. En la figura 17 se propone que la clasificación de los robots es por grado de autonomía, por tipo de misión y por tipo de propulsión.



**Figura 17. Clasificación de los robots submarinos**

Tomado del Artículo "Robótica submarina" (2014)

Entre los componentes de robots submarinos, se mencionan los siguientes:

- La cabina o casco: La estructura y el material que reviste al robot submarino en donde están montados todos los componentes eléctricos y electrónicos.
- Sensores: dedicados a obtener información sobre sus alrededores, hay 3 tipos de sensores: de posicionamiento, de estado interno, y de medición de ambiente.
- El sistema de propulsión: La unión entre los elementos que generan las fuerzas y aquellos que controlan la dirección de estas fuerzas.
- Brazos robóticos: Para manipular elementos en operaciones submarinas.
- Fuentes de energía: el tipo de fuente de energía define el tiempo de operación.

### 2.2.5. Componentes de vehículos marinos

A continuación, se presenta una recopilación de tecnologías sobre los componentes principales que presentan los vehículos marinos evaluados en apartados anteriores. Los componentes a evaluar son: Cascos, sistemas de propulsión, sistemas de direccionamiento, Dispositivos de comunicación remota, tecnologías de transmisión de video y componentes de la interfaz de usuario.

#### 2.2.5.1. Cascos

El Casco o cabina es el cuerpo del barco, su forma varía según la función que se requiera. Entre todos los modelos existentes, se hará mención al casco plano, el catamarán y el trimarán.

##### a. Casco plano

En la figura 18 se muestra un ejemplo cotidiano de casco plano, es el modelo base en la navegación, poseen una baja resistencia hidrodinámica. Es posible instalar motores de baja potencia para obtener un movimiento constante. Su mayor atributo es la gran capacidad de almacenamiento interior de carga y buena resistencia a los desequilibrios de peso. Como aspecto negativo es que no es un casco para alta velocidades.



**Figura 18. Modelo de casco plano**

*Tomado del sitio web "depositphotos", repositorio de fotos en línea*

## b. Catamarán

Es un tipo de embarcación que consiste en dos cascos unidos por un marco. Los mismos principios de navegación aplican a este tipo de cascos, con la ventaja de que tienen una velocidad promedio mayor a los cascos convencionales. Otra ventaja frente a los monocascos es que cuentan con mayor área útil en su superficie tal como se aprecia en la figura 19, al no terminar con forma punteada se permite elaborar estructuras más cerca de la proa.



**Figura 19. Modelo de casco catamarán**

*Tomado del sitio web de “Denison yacht sales”, modelo Sunreef Power 80*

### c. Casco Trimarán

El trimarán es un barco multicasco que consta de un casco principal en el centro y dos flotadores más pequeños atados a los lados del casco principal. Este tipo de barco presenta una menor resistencia a la corriente que los cascos convencionales, una mejor estabilidad y una menor área de contacto con el agua. Como desventaja es que es necesario una mayor longitud en el barco, lo cual lo vuelve un poco difícil de maniobrar. En la figura 20 se presenta la forma de los modelos de casco trimarán. Son vehículos de carreras, utilizados para realizar recorridos sobre mar y lagos, los conductores se colocan en el casco principal para conducirlo.



**Figura 20. Modelo de casco trimarán**

*Tomado del sitio web GraingerDesigns, "Trimaran designs"*

En la tabla 3 se presenta un cuadro comparativo de los 3 tipos de cascos recopilados donde se evalúa los aspectos de capacidad, velocidad, peso del casco, maniobrabilidad, costo y tiempo de fabricación.

**Tabla 3. Cuadro comparativo de cascos de embarcación**

<b>Característica</b>	<b>Casco Plano</b>	<b>Catamarán</b>	<b>Trimarán</b>
Capacidad	Alta	Media	Baja
Velocidad	Media	Media	Alta
Peso del casco	Alto	Medio	Bajo
Maniobrabilidad	Alta	Medio	Bajo
Costo de fabricación	Medio	Medio	Alto
Tiempo de fabricación	Bajo	Medio	Alto

El modelo de casco plano cuenta con buenas características como capacidad y maniobrabilidad que son muy beneficiosas para el proyecto propuesto, sin embargo, posee características medias y su mayor defecto es el peso del casco puesto que requiere abundante material. El casco trimarán es un modelo muy rápido y liviano, pero no cuenta con altas capacidades de carga y es de difícil maniobrabilidad. Un punto medio es el casco catamarán donde todas sus características están balanceadas.

### 2.2.5.2.Sistema de propulsión

En esta sección se presenta los sistemas de propulsión, cuya función es otorgar movimiento al vehículo completo. Se evalúan los sistemas de hélices e hidrodесlizadores.

#### a) Impulsor de Hélice (Moreno, Saltarén, & Puglisi, 2014)

El sistema de empuje con hélice y motor es el más utilizado en la mayoría de robots marinos. Consiste generalmente en un motor eléctrico, al que se le acopla una hélice. Al girar la hélice produce un efecto de empuje al desplazar el fluido de adelante hacia atrás, debido a la diferencia de presión producida.

Influyen muchos factores para expresar su dinámica, tales como: la forma, el diámetro, el área de las aspas, la velocidad de giro de la hélice y otros. En la figura 21 se muestran distintos modelos de hélices.

Este sistema de propulsión es el más utilizado en robots submarinos, sin embargo, estos dispositivos producen una gran cantidad de ruido en el ambiente marino, esto altera en cierta medida la vida acuática.



**Figura 21. Modelos de hélices**

Tomado del sitio web de Enseñanza náutica, “La hélice”



## b) Hidrodeslizador

El Hidrodeslizador permite que la embarcación sea navegada fácilmente a través de pantanos y lagunas bajas, dentro de canales, y también en ríos y lagos congelados. La propulsión o movimiento se logra a través de una columna del aire que pasa a través de los timones (Ver figura 22). El manejo y el control total depende de las corrientes de agua, el viento, y el empuje del propulsor.

Los hidrodeslizadores varían de tamaño desde 3 metros para pequeñas embarcaciones de pesca y recreación, con capacidad para un pasajero, a embarcaciones de 7 metros de largo con capacidad para 18-26 pasajeros generalmente dispuestos en forma de tribuna para viajes de paseo.

El sonido producido por un hidrodeslizador puede ser molesto; la hélice produce la mayoría del sonido. El hidrodeslizador moderno se diseña teniendo en cuenta diferentes técnicas que disminuyen el sonido que un hidrodeslizador produce.



**Figura 22. Un hidrodeslizador es propulsado por helice de aviación**

Tomado del sitio web Kits Modelismo, “Lancha Hidrodeslizador”

En la tabla 4 se muestra el cuadro comparativo sobre los sistemas de propulsión previamente recopilados, los aspectos a ser evaluados son la velocidad, el consumo energético, tamaño del sistema, ruido y precio.

**Tabla 4. Cuadro comparativo de sistemas de propulsión**

<b>Sistema</b>	<b>Impulsor de hélice</b>	<b>Hidrodeslizador</b>
Velocidad	Medio	Bueno
Consumo de Energía	Bajo	Alto
Tamaño	Pequeño	Grande
Ruido	Medio	Alto
Precio	Medio	Alto

En el cuadro comparativo se observa que, en cuanto al desplazamiento sobre el agua, el impulsor de hélice cuenta con características medias o favorables. Su velocidad es adecuada, consumo de energía pequeño, tamaño que ocupa el sistema es reducido, el ruido submarino que genera puede ser molesto para el medio submarino, pero no incomoda a especies terrestres, el precio de este tipo de componentes es elevado pero accesible. Por otro lado, el hidrodeslizador supera en la característica de velocidad, sin embargo, consume mucha energía, el componente ocupa mucho espacio, genera mucho ruido a sus alrededores y sus componentes tienen un costo elevado.



### 2.2.5.3.Sistema de direccionamiento

Los sistemas de propulsión se encargan de brindar movimiento al sistema, pero necesitan un sistema de direccionamiento para darle maniobrabilidad al vehículo. En este apartado se evalúan los sistemas con múltiples impulsores de hélice y aquellos que emplean timones.

#### a. Múltiples impulsores de hélice

Es el sistema más utilizado en los ROVs. Consiste en colocar 2 o más impulsores para dar mayor maniobrabilidad al vehículo. Estos impulsores suelen ponerse en la parte trasera del vehículo. Esta disposición se utiliza principalmente en trabajos de manipulación e inspección por su precisión en el posicionamiento. Finalmente, el inconveniente de este tipo de configuración es el alto consumo de energía debido a la gran cantidad de impulsores.

#### b. Timón

El timón es un dispositivo utilizado para maniobrar un medio de transporte que se mueva a través de un fluido, orientándolo el empuje hacia una dirección deseada. Por lo tanto, es una solución válida tanto para propulsores de hélice como para hidrodreslizadores. Siendo el caso de los timones acuáticos, estos son posicionados lo más cercano posible a los propulsores del buque tal como se muestra en la figura 23.



**Figura 23. Arreglo de timón en buques**

*Tomado del sitio web Aquantica, "Embarcaciones estructurales"*

Por otro lado, los timones en los hidrodesslizadores, debido al tamaño de la hélice, la cantidad y tipo de fluido que empujan, requieren el uso de 2 timones detrás de la hélice tal como se aprecia en la figura 24.



**Figura 24. Arreglo de timones en hidrodesslizadores**

*Tomado del sitio web Net-loisirs, producto "Achat hydroglisseur mini alligator"*

Véase en la tabla 5 la comparación de los sistemas de direccionamiento recopilados, las características evaluadas son de complejidad, eficiencia en el uso de energía, el tamaño que ocupa el sistema y el costo de fabricación.

**Tabla 5. Cuadro comparativo de sistemas de direccionamiento**

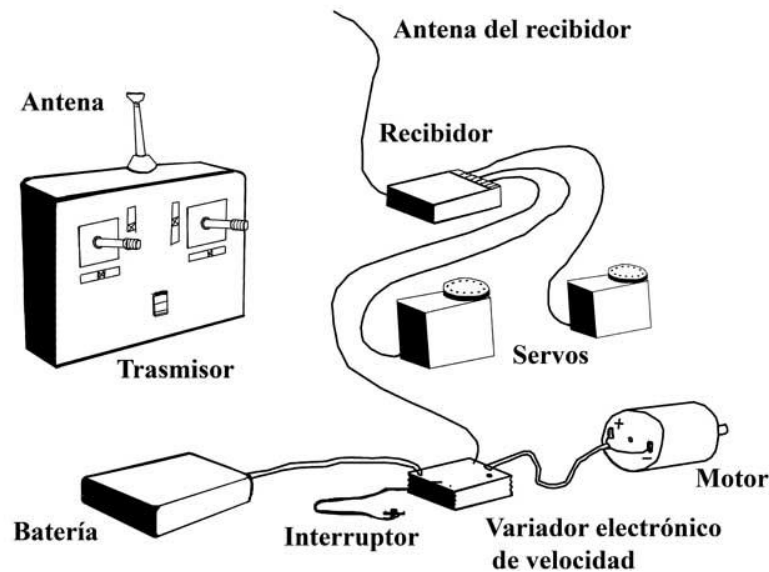
<b>Característica</b>	<b>Múltiples impulsores</b>	<b>Timón de hélices</b>	<b>Timón de hidrodslizador</b>
<b>Complejidad</b>	Medio	Bajo	Bajo
<b>Uso de energía</b>	Medio	Bajo	Bajo
<b>Tamaño</b>	Pequeño	Pequeño	Mediano
<b>Costo</b>	Medio	Bajo	Bajo

El uso de múltiples impulsores para regular el giro del móvil es una solución que brinda mayor potencia, pero tiene desventajas por el costo que el sistema conlleva y la energía adicional que gasta. Los timones son una solución simple de implementar y con buenas características, el costo no es elevado y el tamaño que pueden ocupar varía entre el modelo sumergido y el de hidrodslizador.

#### 2.2.5.4. Dispositivos de comunicación remota

Es necesario un equipo de radio constituido por una emisora y un receptor para el manejo de dispositivos de radio control. El dispositivo emisor se encarga de transmitir ordenes de control dadas por el piloto al dispositivo receptor. En la figura 25 se ilustran los componentes.

**Sistema típico de radio control para un modelo naval eléctrico**



**Figura 25. Arreglo transmisor-receptor enfocado al control naval**

Tomado del sitio web Modelismo Cubano, “sistema típico de radio control para un modelo naval eléctrico”

##### a. Módulos transceptores

Estos módulos de radio frecuencia son muy funcionales, debido a que el mismo tipo de modulo puede funcionar tanto de transmisor como de receptor, por lo cual es más accesible implementar el sistema de comunicación. Este modelo de transceptores funciona a una frecuencia de 2.4 GHz y La información que se envía es encriptada por señales digitales. Con el uso de una antena, este módulo puede enviar información hasta 1000m de distancia.

##### b. Mando radiocontrol y receptor

Un mando radiocontrol es un dispositivo integrado que cuenta con diversos “canales de comunicación” por el cual se intercomunica con un receptor compatible de la misma marca. El

receptor se encuentra instalado en el vehículo remoto y se encarga de controlar los actuadores del vehículo de acuerdo a las señales que va recibiendo. Los paquetes de datos para cada actuador del vehículo se realizan a través de diferentes canales de comunicación, para controlar un vehículo flotante es necesario al menos 2 canales, para aceleración y giro, sin embargo, cada acción adicional a realizarse necesita un canal adicional. Algunos mandos RC permiten emitir y recibir información de forma simultánea. Son dispositivos es una tecnología completamente integrada, es decir que es un producto completamente operativo y pre-programado, es por ello que presenta un costo elevado. La información puede viajar hasta 3km en áreas despejadas y su consumo de energía es elevado.

#### c. Comunicación por internet

En la actualidad las personas emplean medios digitales para comunicarse, la principal característica es el requerimiento de conexión a internet para lograr este objetivo. Con las tecnologías que se poseen hoy en día es posible implementar dispositivos más compactos que las computadoras, pero que tengan acceso a internet sin necesidad de ser operados por personas. Esto forma parte del concepto “Internet de las cosas” (IoT por sus siglas en ingles).

La principal ventaja de que las nuevas tecnologías estén conectadas a internet es la facilidad con la que estas puedan ser controladas y monitoreadas desde cualquier parte del mundo. En cuanto a sus desventajas se caracteriza las implementaciones de este sistema, existen varias soluciones para lograr la conexión de un proyecto a internet, pero eso involucra el diseño de equipos electrónicos y sus métodos para lograr la comunicación y la velocidad de transmisión de datos deseada. En la tabla 6 se presenta el cuadro comparativo donde se evalúan las 3 tecnologías de comunicación remota.

Tabla 6. Cuadro comparativo de dispositivos de comunicación

<b>Dispositivo</b>	<b>Módulos transceptores</b>	<b>Mando RC y receptor</b>	<b>Comunicación por internet</b>
<b>Complejidad de implementación</b>	Media	Muy baja	Muy alta
<b>Distancia de emisión</b>	Hasta 1000m	Hasta 3000m	ilimitada
<b>Perdida de información</b>	ocasional	Poco común	Poco común
<b>Precio</b>	Bajo	Alto	Muy Alto
<b>versatilidad de la tecnología</b>	Módulos muy versátiles para programadores	Operan con tecnologías de la misma marca	Requiere acceso a internet

Los módulos transceptores son módulos que pueden ser utilizados por microcontroladores programables, son económicos y pueden funcionar tanto de emisor como de receptor lo cual vuelve versátiles. Pueden intercambiar comunicación a largas distancias, pero trabajar en los límites del módulo ocasionará pérdidas de información ocasionalmente. Esta tecnología es únicamente un módulo, se requiere implementar un sistema electrónico y una programación para que funcione correctamente.

Los mandos de radiocontrol y receptores son dispositivos completamente funcionales que poseen una alta distancia de transmisión de datos y la información es confiable, pero son dispositivos muy costosos y los componentes solo son compatibles entre la misma marca, por lo que los dispositivos no son muy versátiles para trabajar en conjunto con otras tecnologías.

La comunicación de dispositivos por internet es un concepto que está marcado en las tecnologías modernas, la distancia de comunicación no tiene límites y resulta versátil acceder a la tecnología. Sin embargo, el sistema detrás de todo este proceso de comunicación es de difícil implementación y diseñar dispositivos que se adecuen a una tarea en particular puede resultar en altos costos de implementación.

### 2.2.5.5. Transmisión de video remoto

El concepto de control de robots a distancia a promovido el desarrollo de herramientas tecnológicas que brinden la transmisión de video en tiempo real, todas las tecnologías se basan en señales de radiofrecuencia.

#### a. Cámaras wifi

Este tipo de cámaras presentan un punto de acceso wifi y cuentan con software para que el usuario pueda acceder al video que graba la cámara en tiempo real desde una aplicación del teléfono móvil. Ya que se requiere de comunicación permanente entre la cámara y el teléfono celular por red wifi, la distancia de comunicación es corta. Este tipo de sistema también se puede encontrar en drones comerciales con cámara como el de la figura 26. A continuación se presentan algunas características generales de estas cámaras.

- Distancia de operación limitada por módulos wifi, máximo 100m.
- Sistema de cámara integrado, requiere usar la aplicación del fabricante.
- Acceso al video mediante dispositivos celulares.
- La transmisión de video es en vivo.



**Figura 26. Drone con punto de acceso wifi**

*Tomado del sitio web Aliexpress, "FPV Quadcopter wifi"*

## b. Módulos FPV

Los módulos FPV (First Person View), consta de mini-cámaras integradas a una antena transmisora que envía información de video a frecuencias de 5.8GHz. Existen variedades de sistemas receptores que puede fácilmente adaptarse a la frecuencia de transmisión de datos. Estos sistemas receptores poseen un receptor FPV y una pantalla para reproducir el video enviado en tiempo real. El video que se transmite lo hace a través de una frecuencia de libre acceso, por lo que es posible recepcionar los datos desde más de un dispositivo. En la figura 27 se presenta un drone empleando el sistema FPV. Las características generales de estos dispositivos son:

- La distancia de transmisión varía según el sistema utilizado, entre 500m a 3000m.
- Sistema no integrado, parte de sus componentes pueden ser reemplazados para mejorar el rendimiento del sistema.
- El sistema de recepción de video es independiente del de transmisión. Se puede acceder al video desde un teléfono celular con adaptador para señales FPV o también desde pantallas FPV.



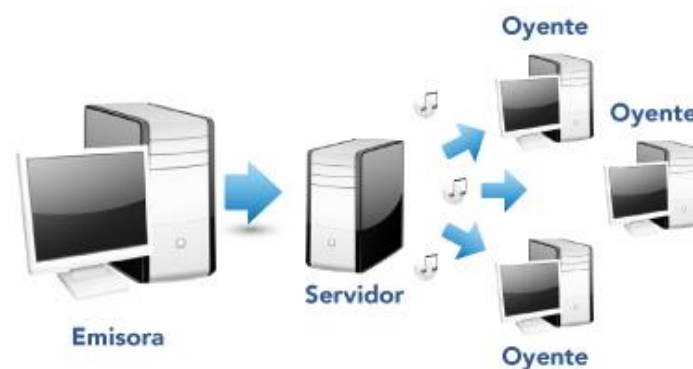
**Figura 27. Módulo transmisor y receptor del sistema FPV**

Tomado del sitio web Idielectrónica, producto “Eachine Racer 250 FPV”



c. Video *streaming* – transmisión en directo

El “*streaming*” es la distribución de contenido multimedia a través de medios digitales en internet. En la figura 28 se presenta el diagrama de componentes presentes en la realización de un *streaming*. En un principio el usuario genera el contenido multimedia desde un computador con acceso a internet y carga en un servidor, que ofrece el servicio de *streaming*, su contenido en tiempo real. El servidor comparte este contenido multimedia a través de su aplicación web a los usuarios finales, los cuales descargan constantemente los paquetes de datos que tienen el contenido multimedia.



**Figura 28. Diagrama de componentes para *streaming* por internet**

Tomado del sitio web Taller de radio digital, “*Que es y cómo funciona el streaming*”

Características:

- La transmisión puede ser entre países o incluso entre continentes.
- Existe un retraso considerable entre la transmisión y recepción del contenido multimedia, este es denominado latencia.
- Realizar *streaming* requiere elaborar un sistema conformado por un dispositivo emisor con acceso a internet, un servidor que soporte contenido multimedia y un dispositivo receptor con acceso a internet para visualizar el contenido multimedia.

En la tabla 2.7 se realiza una comparación entre las tres tecnologías recopiladas acerca de visión. Las características a ser evaluadas son la distancia de control, la modularidad del sistema, el precio, la accesibilidad y la seguridad de la información.

**Tabla 2. 1. Cuadro comparativo de tecnologías de visión**

<b>Característica</b>	<b>Cámaras wifi</b>	<b>Módulos FPV</b>	<b>Streaming</b>
<b>Distancia de transmisión</b>	Hasta 100 m	Entre 500m a 3000m	ilimitado
<b>modularidad</b>	Producto integrado	Módulos independientes	Dispositivos independientes
<b>Precio</b>	100S/ a 300 S/	Precio de componentes por separado	Requiere dispositivos y servicio web
<b>Accesibilidad</b>	App desde el celular	App de celular + receptor FPV o Pantalla FPV	App desde celular e internet
<b>Seguridad de información</b>	Sólo el operador tiene acceso	Video emitido libremente a una frecuencia de 5.8GHz	El emisor controla el acceso

La capacidad de la cámara wifi presenta un menor costo y facilita el acceso a la información transmitida ya que se puede acceder únicamente empleando un teléfono celular como intermediario. Por otro lado, presenta la desventaja de una corta transmisión de video.

Los módulos FPV brindan mayor distancia de transmisión, con módulos independientes entre la transmisión y recepción de video. El precio de todo el sistema variara según la selección de los componentes presentes en el mercado. Sus desventajas recaen en que la seguridad del video es nula porque es de libre acceso. Además, el acceso para un usuario requiere adquirir receptores FPV en conjunto con un teléfono celular e instalar una app.

La última tecnología es el *streaming*, este método ofrece una distancia de transmisión ilimitada y el acceso al contenido puede configurarse para ser privado. La principal desventaja es que el servicio requiere una conexión permanente a internet, el cual es un servicio de pago, además la transmisión puede presentar retrasos considerables de información.

### **2.2.5.6. Interfaz de usuario**

La interfaz del usuario es el medio por el cual el usuario visualiza información del estado del vehículo remoto y es usado para insertar señales de control. En este apartado se evaluará tecnologías para la visualización de la interfaz y la inserción de parámetros de control.

#### **I. Visualización de datos**

La visualización de datos involucra que el operador del vehículo remoto pueda realizar la correcta lectura de la información de sensores enviado. Las tecnologías evaluadas son los teléfonos inteligentes, las pantallas FPV y pantallas LCD.

##### **a. Teléfono inteligente**

Los teléfonos inteligentes presentan un módulo wifi, el cual al trabajar en conjunto con una aplicación puede transmitir tanto audio como señales de control con otros dispositivos que utilicen módulos wifi. Mediante aplicaciones para teléfonos inteligentes y módulos FPV es posible visualizar videos enviados desde transmisores FPV.

La ventaja de los teléfonos inteligentes es que son dispositivos comunes que las personas poseen, por lo cual se puede adaptar la interfaz para utilizar el teléfono del usuario mismo y ahorrar costos. Su principal inconveniente podría surgir al momento de verificar si el celular es compatible con módulos externos, esto se debe a que los teléfonos inteligentes de hoy en día no siempre utilizan los mismos tipos de conectores USB.

##### **b. Pantallas FPV**

Las pantallas FPV son dispositivos que pueden captar señales de video de transmisores FPV ya que cuentan con todo un sistema electrónico embebido que realiza este proceso. No obstante, son productos muy delicados y de costo moderado.

### c. Pantallas LCD

Las pantallas LCD presentan varios diseños, en ellas se podrán visualizar datos generados por controladores. La principal ventaja de las pantallas es su versatilidad para programar, ya que presentan mayor facilidad de trabajo frente a la programación de aplicaciones para teléfonos. Su principal desventaja es que requiere un sistema de control para poder operar.

## II. Inserción de parámetros

El operador del vehículo teleoperado tiene el rol de controlar los parámetros del sistema, los cuales deberá insertar en la interfaz de usuario para ser enviadas. En este apartado se evalúan los mandos joystick, los módulos joystick programables y las pantallas táctiles.

### a. Mandos joystick

Los mandos joystick son dispositivos compatibles entre productos de la misma marca. Presentan botones y periféricos analógicos que representan las señales de entrada para el dispositivo remoto. Este tipo de dispositivo son de uso común para videojuegos y control de vehículos RC. En el mercado se comercializan mandos pre-programados para ser utilizados en actividades recreativas como control de aviones a escala o drones.

### b. Módulos Joystick programables

Los módulos joystick tienen un comportamiento más flexible debido a que son un arreglo de sensores analógicos que pueden ser leídos por dispositivos controladores. La ventaja de estos componentes es su muy reducido costo de implementación y fácil acceso y control de los datos muestreados. La desventaja es que se requiere todo un proceso de programación para convertir los datos muestreados por los sensores en información procesable por el vehículo RC.

### c. Pantallas táctiles

Microcontroladores y microcomputadores pueden utilizar pantallas táctiles para recibir información de la misma manera que lo hacen los ordenadores modernos. La ventaja de las pantallas táctiles es que es un solo componente el cual se debe adquirir. Sin embargo, es necesario programar una aplicación para que el dispositivo controlador reciba información del operador de la pantalla. Este producto se considera poco eficiente en cuanto al consumo energético se refiere.

## Capítulo 3

### Diseño Conceptual

En este capítulo se desarrolla la lista de requerimientos, en el cual se delimitarán los alcances que tendrá la máquina. A continuación, la caja negra del sistema y con ello la determinación de estructuras de funciones. Finalmente se realizará una matriz morfológica y conceptos de solución, que serán evaluados para obtener un concepto de solución óptimo.

#### 3.1. Requerimientos del sistema

- **Función principal:** Se recolectarán residuos sólidos flotantes del humedal de Pantanos de Villa empleando un vehículo marino, el cual será controlado por un operador a través de un mando de control remoto.
- **Geometría:** Debido a las limitaciones que se presenta en “Los pantanos de Villa”, el sistema mecatrónico no debe exceder los 1.5m de ancho y largo. En lo que respecta a la altura del sistema, se encuentra como restricción que la proporción del sistema sumergido bajo el agua no ha de exceder los 15cm de profundidad.
- **Cinemática:** El vehículo marino debe alcanzar velocidades de hasta 6 km por hora. Este valor de velocidad rivaliza con otros productos comerciales en el mercado y permite abarcar largas distancias de recorridos durante su operación.
- **Fuerzas:** Teniendo en cuenta la forma de ingreso al área donde se encuentran los humedales, el cual es únicamente a pie, se requiere que el sistema mecatrónico sin carga no exceda los 20kg. Por otro lado, según la proporción de las tecnologías evaluadas, se espera que el sistema mecatrónico pueda almacenar al menos 10kg (aprox. 0.1m<sup>3</sup>) de residuos sólidos.

- **Energía:** Al sistema ingresa energía cinética para el movimiento del vehículo y energía eléctrica para alimentación de sensores y actuadores. A la salida del sistema se identifica energía sonora y térmica.
- **Materia:** El sistema durante su recorrido debe recoger residuos sólidos, los cuales estarán almacenados hasta que el operador encuentre necesario su descarga.
- **Comunicación:** La comunicación entre el vehículo marino y el operador se da por medio de un mando de control, la distancia de comunicación debe tener un rango de al menos 500 metros dada la naturaleza de la zona de trabajo. El mando de control deberá contar con los componentes necesarios para controlar el vehículo y asimismo obtener información de sensores y cámara.
- **Señales de entrada:**

En el mando de control se tienen las siguientes señales de entrada:

- ✓ **Señal de velocidad:** indica la velocidad deseada para el vehículo.
- ✓ **Señal de dirección:** indica la dirección a la que se desea trasladar el vehículo.
- ✓ **Señal de recolección:** indica el momento que debe activarse el recolector del sistema en caso este emplee energía eléctrica para operar.
- ✓ **Señal sonora:** esta señal activará un dispositivo para generar sonido y despejar un área de aves presentes.
- ✓ **Recepción de video:** El mando de control recibirá señales de video que emite el vehículo marino.
- ✓ **Señal de control de cámara:** El operador podrá controlar el ángulo de visión de la cámara para buscar residuos sólidos en casos que no tenga visión física del vehículo o alrededores.
- ✓ **Recepción de datos:** El mando de control recibe datos de sensores del vehículo.

En el vehículo marino se tienen las siguientes señales de entrada:

- ✓ Señal de control del operador: las señales de control que el mando de control envía al vehículo tendrán una sola fuente de recepción, el objetivo de estas señales serán controlar funciones del vehículo tales como velocidad, dirección, recolección, alarma y ángulo de visión.
- ✓ Señal de visión: grabación de video del área de trabajo.
- ✓ Señal de energía: medición de la batería del sistema.
- ✓ Señal de capacidad: medición de la cantidad de residuos sólidos recolectados.
- Señales de salida:

El mando de control posee las siguientes señales de salidas:

- ✓ Señal de control del operador: señal de control que el mando de control recopiló de los sensores que han sido manipulados por el operador.
- ✓ Señal del visualizador de estados: señal que imprime valores de sensores en un visualizador para que el operador tenga información del estado del vehículo.
- ✓ Señal del visualizador de video: señal que imprime los valores de la señal de video recepcionados en un visualizador para que el operador tenga visión del área de trabajo.

El vehículo marino tiene las siguientes señales de salida:

- ✓ Transmisión de video: señal de emisión de video captado por la cámara del vehículo.
- ✓ Transmisión de señal de sensores: señal que transmite datos de valores de los sensores presentes en el vehículo.
- Seguridad: Proteger los componentes electrónicos del medio ambiente, se va a sellar los componentes dentro de un contenedor a prueba de agua, los materiales a utilizar para el marco del sistema deberán ser a prueba de agua. En caso de detectarse errores en el momento de la comunicación inalámbrica, se deberá programar el sistema para que se desplace a la última posición que detecto antes de perderse la comunicación.



- **Mantenimiento:** Se espera que el sistema mecatrónico tenga un tiempo de operación de 4 horas. Con el tiempo de operación se espera lograr un recorrido promedio de 20 kilómetros por jornada.
- **Transporte:** El sistema contará con accesorios que permitan que sea levantado por dos personas. Según "Reglamento de la ley de seguridad y salud en el trabajo" en el cual indica que el peso máximo a cargar para una persona es máximo de 12.5kg.
- **Área de trabajo:** El sistema tendrá como principal centro de operación los humedales en los "Pantanos de Villa", lo cual se ve apreciado en las restricciones de geometría del modelo, el peso máximo del vehículo, la distancia de control y sus funciones de desplazamiento, direccionamiento y recolección.

### **3.2.Determinación de estructura de funciones**

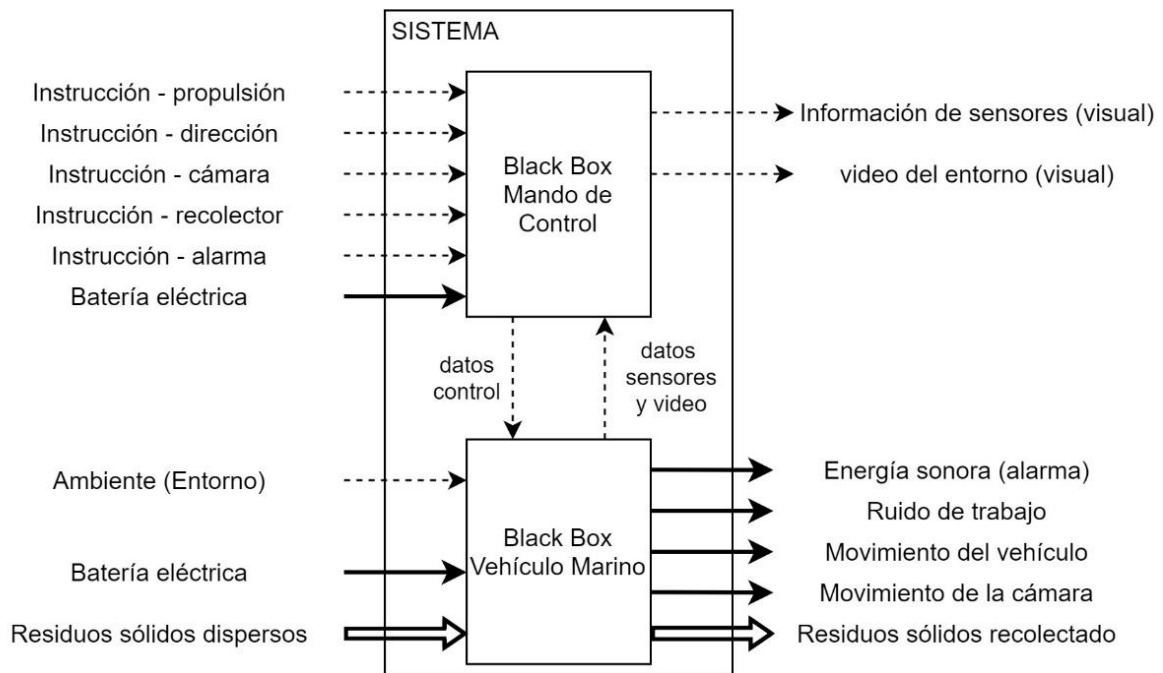
A continuación, se presenta el procedimiento para determinar la estructura de funciones. En primer lugar, se propone la caja negra del sistema con sus entradas y salidas, luego se determina la estructura de funciones que realiza cada dominio del sistema, finalmente se muestra el diagrama de funciones integrado.

#### **3.2.1. *Black Box***

La caja negra es el diagrama en el cual se expresan todas las variables que entran al sistema y aquellas que salen de este conforme la lista de requerimientos y la secuencia de operaciones. En la figura 29 se presenta la caja negra propuesta para el concepto de solución.

Dada la lista de requerimientos, las señales de entrada externas para el operador son en su totalidad señales insertadas a través del mando de control, asimismo se provee de energía eléctrica y en el área de trabajo se ingresa el vehículo flotante, los residuos sólidos son elementos que serán recolectados por el sistema, por lo tanto, también son una variable de entrada.

A la salida del sistema se identifican señales visuales en el mando de control, por un lado, la información de los sensores del vehículo y por otro lado la señal de video que el vehículo se encuentra filmando. De igual manera se identifica a la salida del sistema la generación de energía durante el desplazamiento del vehículo y movimiento de la cámara, energía sonora durante la activación de alarma y el ruido que emite el sistema de propulsión.



**Figura 29. Caja negra del sistema mecatrónico propuesto**

### 3.2.2. Estructura de funciones

La estructura de funciones detalla la relación entre las entradas y las salidas a través de bloques de funciones que son realizadas por principios tecnológicos. La determinación de la estructura de funciones depende del diagrama de la caja negra del sistema y las funciones que debe realizar el sistema según los requerimientos establecidos. Se desarrollaron los siguientes dominios del sistema: mecánico, energía, comunicaciones, interfaz de usuario y control.

#### I. Dominio mecánico

Según los requisitos del sistema, se debe implementar un vehículo marino, que se define como un vehículo con capacidad de flotación y desplazamiento en el agua, este tendrá la función de recolectar residuos sólidos. Adicionalmente se requiere la implementación física de un mando de control para operar el vehículo de manera remota. En la figura 30 se presenta el dominio mecánico para el vehículo marino y en la figura 31 para el mando de control.



Figura 30. Dominio mecánico del vehículo marino



Figura 31. Dominio mecánico del mando de control

## II. Dominio de energía

El dominio de la energía requiere componentes para energizar el sistema y tecnologías de acondicionamiento para distribuir energía a cada dominio que sea necesario. En la figura 32 se presenta el dominio de energía para el vehículo marino, el cual se presenta el acondicionamiento para energizar el dominio de sensores, comunicación, procesamiento y actuadores. En la figura 33 se presenta el dominio de energía para el mando de control y el acondicionamiento para los dominios de comunicación, interfaz y procesamiento.



Figura 32. Dominio de energía del vehículo marino



Figura 33. Dominio de energía del mando de control

### III. Dominio de comunicaciones

El dominio de comunicaciones abarca el requisito de intercomunicar el mando de control con el vehículo marino los cuales intercambian información de señales de control y señal de video. En la figura 34 se presenta el diagrama para la intercomunicación entre el vehículo marino y el mando de control.

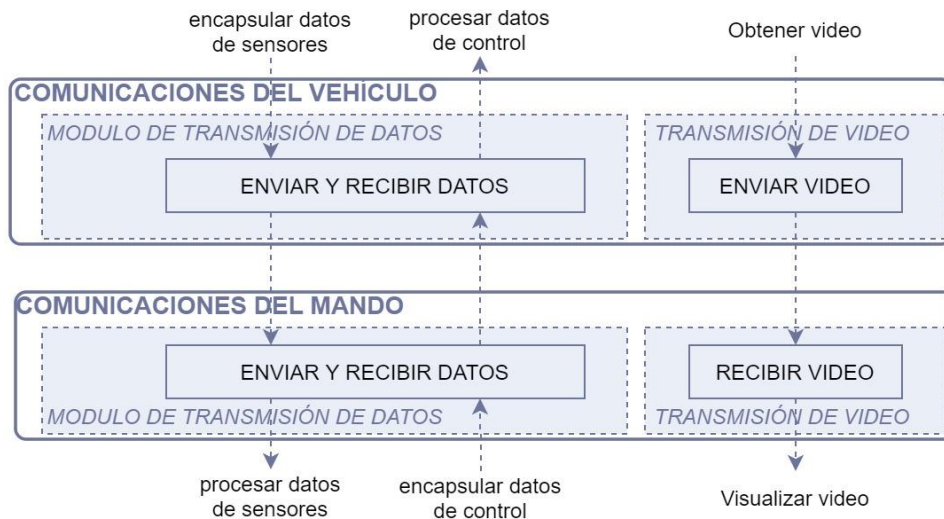


Figura 34. Dominio de comunicaciones del vehículo marino

### IV. Interfaz de usuario

El dominio de interfaz de usuario está presente en el mando de control y sus funciones son recibir señales de instrucción del operario para trasladarlos al dominio de control e igualmente visualizar información proveniente del vehículo al operador. En la figura 35 se presenta el diagrama detallado del dominio de interfaz de usuario.

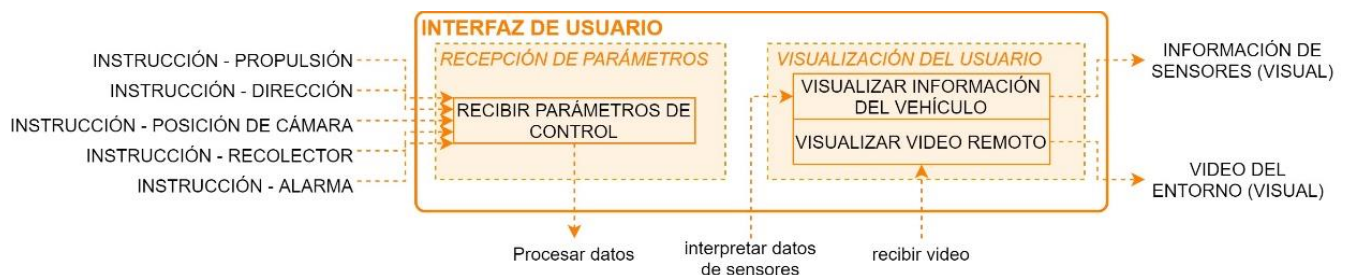
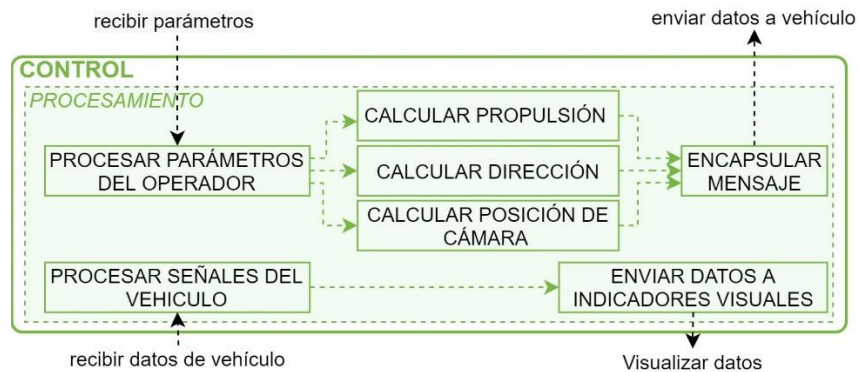


Figura 35. Interfaz de usuario del mando de control

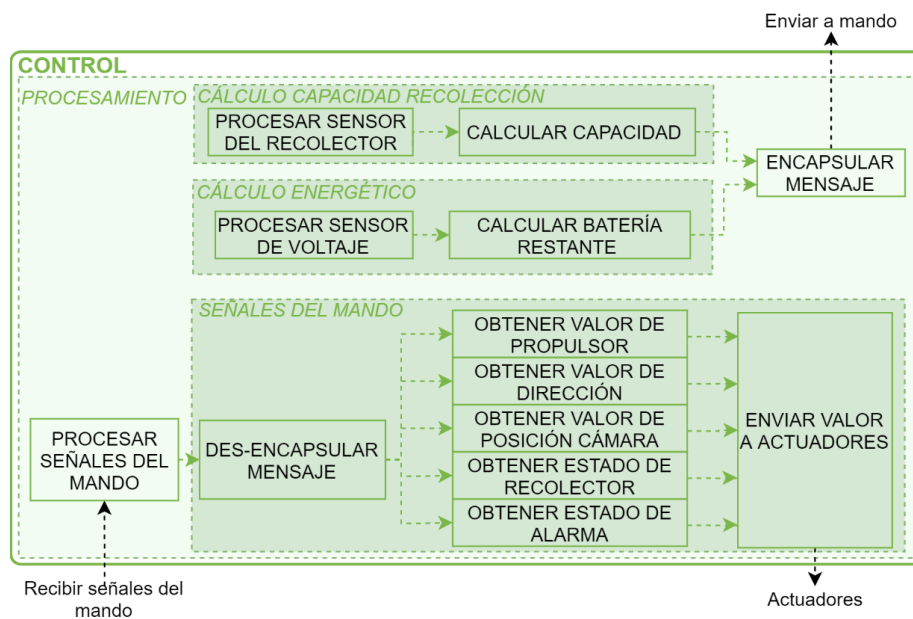
## V. Dominio de control

El mando de control tiene las funciones de procesar las señales que ingresa el operador para enviarlas al vehículo e igualmente procesar las señales que recibe del vehículo para visualizarlas en pantallas visibles para el operador. En la figura 36 se presenta el diagrama detallado del dominio de control del mando.



**Figura 36. Dominio de control del mando**

El dominio de control del vehículo se encarga de procesar las señales del mando de control y realizar los cambios pertinentes en los actuadores, en la figura 37 se presenta el diagrama del dominio de control del vehículo.



**Figura 37. Dominio de control del vehículo**

En la figura 38 se muestra la estructura de funciones integrada del sistema propuesto. El sistema posee dos dispositivos: el mando de control y el vehículo marino.

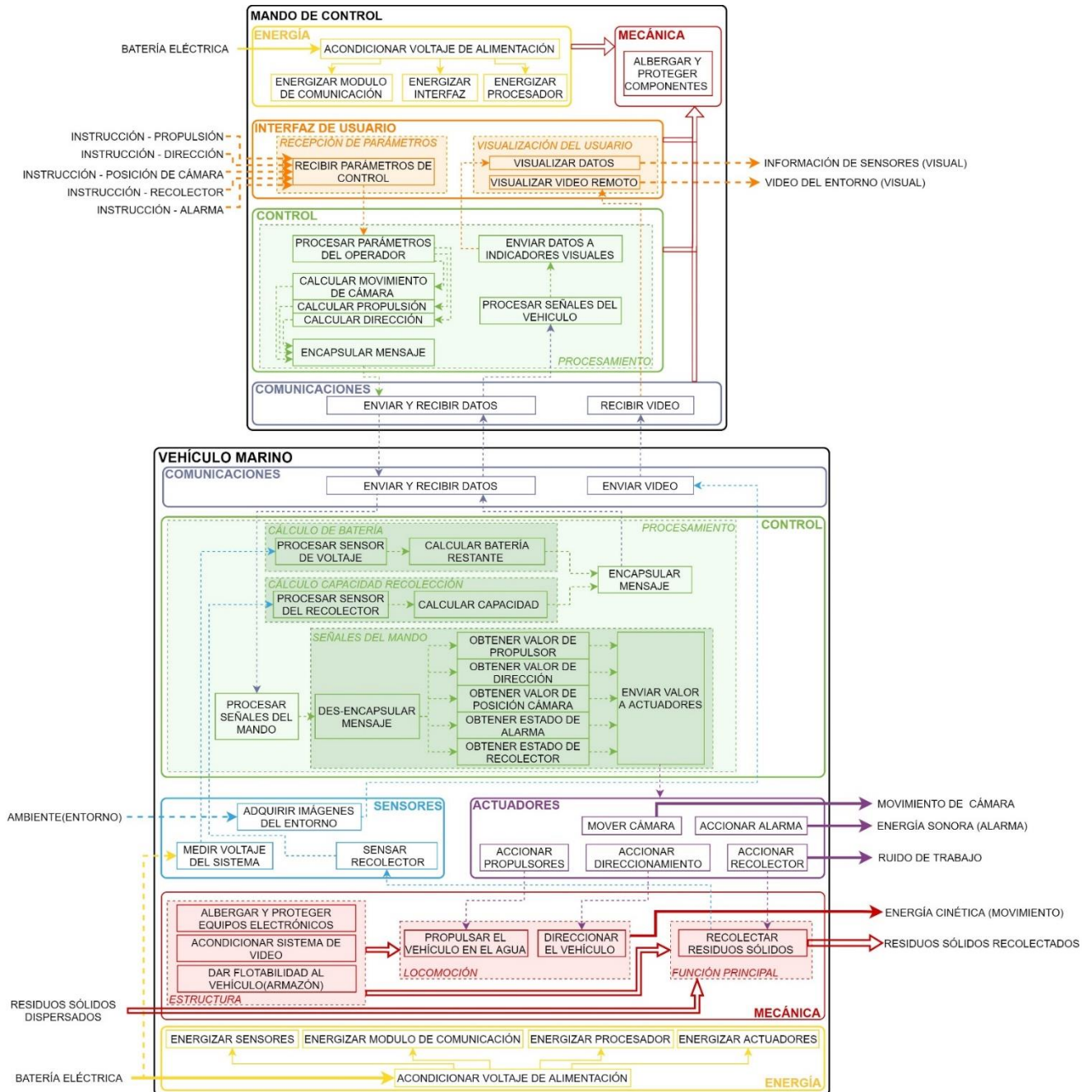


Figura 38. Estructura de funciones integrada del sistema

### 3.3. Matriz morfológica

A partir de la estructura de funciones del conjunto mando-vehículo que conforman el sistema teleoperado, se elabora la matriz morfológica de componentes tecnológicos adecuados para una respectiva función de los dominios establecidos.

De igual manera, tomando la matriz morfológica como base, se desarrolla tres alternativas de solución para el sistema completo. En la tabla 7 se presentan las flechas indicadoras a emplear en la siguiente sección. En la tabla 8 se presenta una lista de alternativas de solución a cada función o proceso de la matriz morfológica, según lo indiquen las flechas, dicha alternativa representa un concepto de solución.

**Tabla 7. Flechas indicadoras para cada concepto de solución**






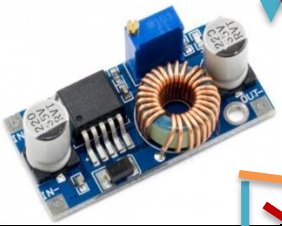
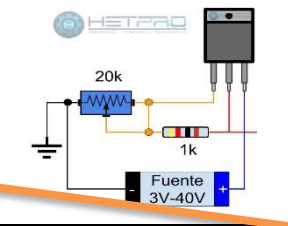
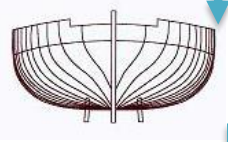
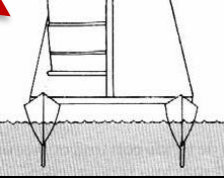
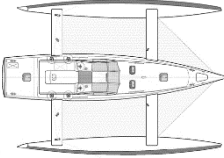







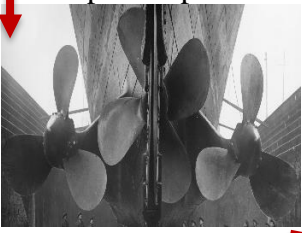



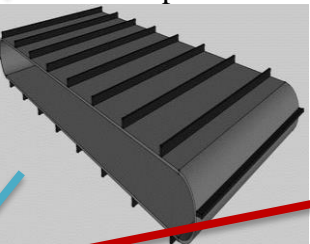
















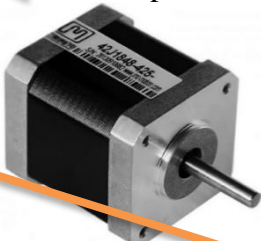










Concepto de solución	Indicador
Solución 1	
Solución 2	
Solución 3	










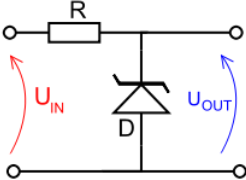






Tabla 8. Matriz Morfológica del sistema propuesto









Tipo	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<b>Vehículo Marino</b>				
<b>Energía</b>	<b>Energizar sistema</b>	Batería recargable 	Panel solar 	
	<b>Acondicionar voltaje del sistema</b>	Módulo electrónico 	Circuito electrónico 	
<b>Mecánica</b>	<b>Dar soporte al vehículo</b>	Casco plano 	Casco catamarán 	Casco trimarán 
	<b>Dar soporte a componentes de la cámara</b>	Sistema pan-tilt 	Trípode motorizado 	
	<b>Estructura del vehículo</b>	Madera 	Aluminio 	Fibra de vidrio 
	<b>Propulsar el vehículo en el agua</b>	Hélices 	Hélices de hidrodenslizador 	

Tipo	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Mecánica	Direccionar el vehículo	<p>Múltiples impulsores</p> 	<p>Timón acuático</p> 	<p>Timón de Aero-bote</p> 
	Recolectar residuos sólidos	<p>Pala cargadora</p> 	<p>Cinta transportadora</p> 	<p>Canasta sumergida</p> 
Sensores	Adquirir imágenes del entorno	<p>Cámara FPV</p> 	<p>Cámara wifi</p> 	
	Medir capacidad de almacenamiento	<p>Sensor de carga</p> 	<p>Sensor de distancia</p> 	<p>sensor de nivel de agua</p> 
Control	Medir energía restante del sistema	<p>módulo electrónico</p> 		
	Procesamiento	<p>Microcontrolador</p> 	<p>micro-computador</p> 	<p>Receptor RC</p> 

Tipo	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Comunicaciones	Transmitir señales	Servidores en la nube 	Transceptor 	
	Recepcionar señales			
	Transmitir imágenes	transmisor FPV 	modulo wifi 	<i>streaming</i> 
Actuadores	Accionar movimiento de cámara	Servomotor 	motor a pasos 	motor DC 
	Accionar sistema de propulsión	Motor DC 	Motor Brushless 	Motor DC 
	Accionar sistema de direccionamiento	Servomotor 	Motor DC 	Motor Brushless 
	Accionar sistema recolector	Motor a paso 	Motor DC 	Motor Brushless 



Tipo	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Actuadores	Accionar alarma	Buzzer 	Sirena electrónica 	Parlante 
<b>Mando de Control</b>				
Energía	Energizar sistema	Pilas comerciales 	Baterías recargables 	
	Regular voltaje de sistema	Regulador integrado 	Módulo electrónico 	Circuito electrónico 
Interfaz de Usuario	Recibir señales del operador	Joystick y pulsadores 	Mando RC 	Pantalla táctil 
	Visualizar datos	Pantalla LCD 		
	Visualizar imágenes	pantalla FPV 	Teléfono celular 	

Tipo	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Comunicaciones	Recepcionar imágenes	pantalla FPV 	Receptor FPV 	Receptor wifi 
	Recepcionar datos del vehículo	Servidores en la nube 	Receptor RC 	Transceptor 
	Transmitir datos			
Control	Procesamiento	Microcontrolador 		Micro-computador 

### **3.4. Conceptos de solución del sistema**

A partir de las soluciones indicadas en la matriz morfológica se presenta un breve desarrollo. Se describe la solución propuesta y las características principales de la solución.

#### **3.4.1. Concepto de solución 1**

En la figura 39 se presenta este concepto de solución. A nivel mecánico usa de base el casco plano, el método de propulsión es mediante un motor brushless con hélices que se encuentra en la parte posterior del móvil. Navega usando un timón sumergido ubicado junto al propulsor que se activa con un servomotor. El sistema de recolección es una faja transportadora activado por motor a pasos.

A nivel de sensores, se adquieren imágenes con cámara FPV y se mide la cantidad de residuos recolectados usando una celda de carga. A nivel de comunicaciones se emplea un módulo receptor RC para señales de control y antena FPV para señales de video. Asimismo, el mando de control está compuesto por un “Mando RC” necesariamente compatible con el receptor que se encuentra en el vehículo, todos sus componentes se encuentran integrados. Para la recepción de imágenes se utiliza un receptor FPV y un teléfono celular que, mediante un accesorio, están unidos al “Mando RC”.

El casco plano es el único modelo que permite acoplar una cinta recolectora en la parte frontal del vehículo, la velocidad de recolección depende de la potencia eléctrica ejercida. El diseño del casco y timón permite al vehículo alta maniobrabilidad.

Trabajando en conjunto con el vehículo se encuentra el mando de control, el cual consiste en un “Mando RC” más teléfono celular con antena FPV, este concepto se caracteriza por ser de fácil implementación, compatibilidad asegurada entre los componentes del vehículo y mando. La tecnología empleada tanto en el mando como en el vehículo es de fácil acceso y su implementación es asequible, puesto que el número de piezas es mínimo. Sin embargo, el costo de la tecnología llega a ser alto para conseguir las ventajas detalladas anteriormente.

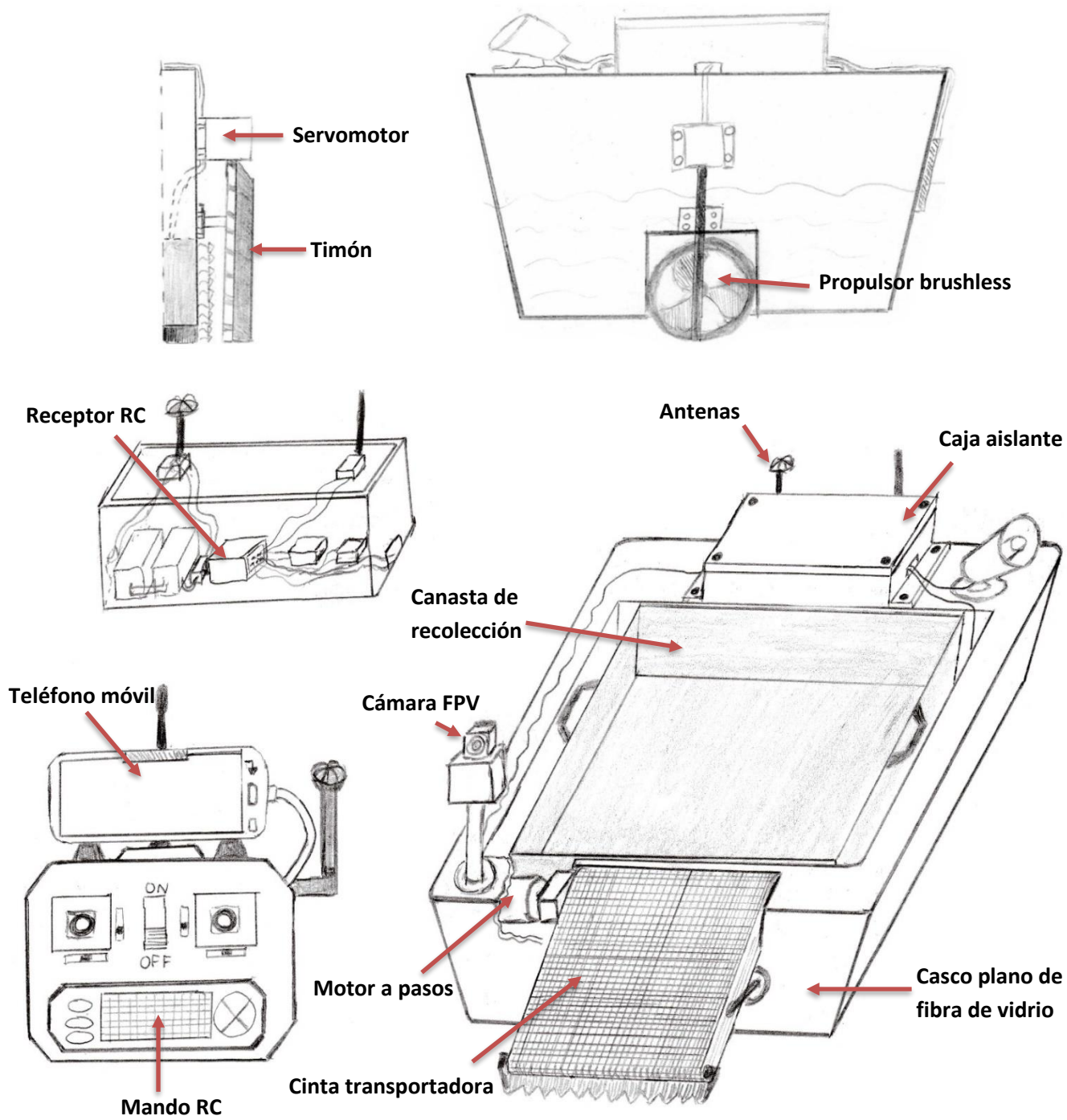


Figura 39. Primer concepto de solución

### 3.4.2. Concepto de solución 2

El segundo concepto de solución se presenta en la figura 40, a nivel mecánico usa casco catamarán ya que puede alcanzar mayores velocidades, el método de propulsión empleado usa dos motores brushless con hélices ubicados en la parte posterior. El vehículo navega variando la potencia y dirección de los motores. El sistema de recolección es una red recolectora.

A nivel de sensores, se adquiere imágenes con cámara FPV y se mide la cantidad de residuos recolectados usando múltiples sensores de distancia. A nivel de comunicaciones se usa un módulo transceptor para señales de control y antena FPV para señales de video.

El mando de control escogido para este modelo contiene un arreglo de componentes analógicos y digitales que son programados por un microcontrolador, todos los componentes se acomodan en una carcasa. Para la recepción de imágenes se utiliza una pantalla FPV.

El recojo de residuos sólidos no depende de un subsistema que emplee energía para operar, sino que está vinculado al desplazamiento del vehículo. Dado que se recolecta residuos sólidos mientras el vehículo avanza, no es recomendable que haga movimientos de retroceso.

El vehículo marino trabaja en conjunto con el mando de control, ambos son compatibles mediante el intercambio de datos por transceptor, el cual es una tecnología de fácil acceso y bajo costo, por lo cual es posible incluso fabricar varios mandos que, mientras posean el programa de control, podrán operar el vehículo, de tal manera no existe una dependencia entre componentes del vehículo y mando. Este concepto de solución se caracteriza por tener una cantidad de piezas elevadas y de necesitar un elevado tiempo de programación para el correcto funcionamiento. Por otro lado, el precio de la mayoría de los componentes es bajo y el número de sistemas a ser implementados se reduce ya que el subsistema propuesto es multifuncional.



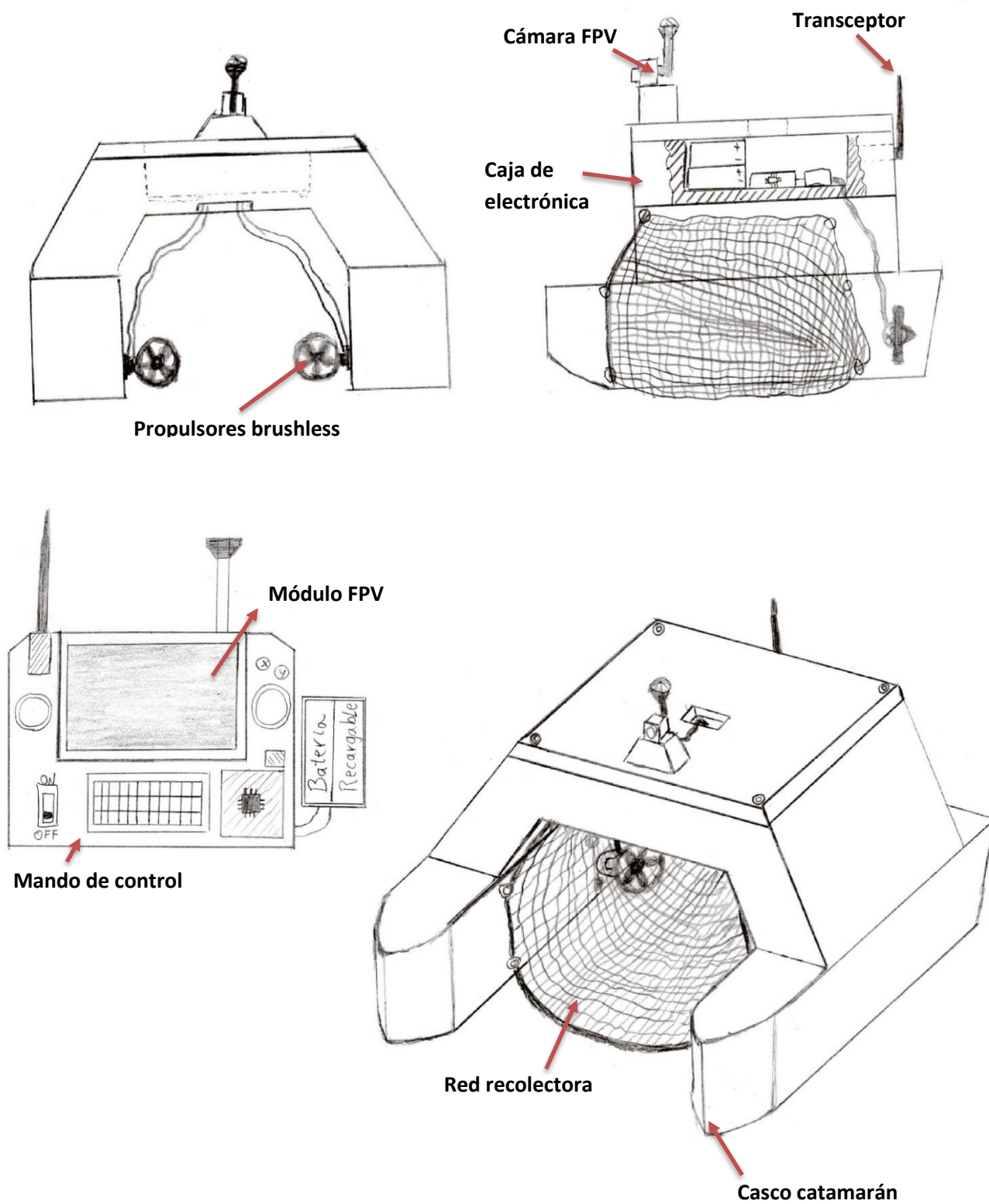


Figura 40. Segundo concepto de solución

### 3.4.3. Concepto de solución 3

El tercer concepto de solución se presenta en la figura 41. A nivel mecánico usa el tipo de casco trimarán, el método de propulsión es el hidrodensizador, en este caso se emplean dos motores DC y hélices. El sistema de navegación está conformado por timones ubicados detrás de las hélices. El sistema recolector usa una pala cargadora accionada por un motor a pasos.

A nivel de sensores, se adquieren imágenes con cámara FPV y se mide la cantidad de residuos recolectados usando un sensor de nivel de agua, dado que el vehículo aumenta de peso al recoger residuos se va sumergiendo en pequeña proporción. A nivel de comunicaciones se emplea un módulo transceptor para recibir las señales de control y antena FPV para señales de video. El sistema electrónico es controlado mediante un microcomputador.

El mando de control de esta solución está compuesto principalmente por una pantalla táctil controlada por un microcomputador y con una pantalla FPV para recibir señales de video.

Las hélices no se sumergen, los motores no trabajan con carga pesada del fluido por lo que el tiempo de vida del propulsor es mayor. La pala recolectora se llena durante el desplazamiento y se activa para enviar los residuos al contenedor.

El vehículo marino trabaja en conjunto con el mando de control, ambos cuentan con un microcomputador como controlador del sistema, esto facilita la programación y comunicación. El mando de control cuenta con una interfaz moderna y llamativa que se adapta a las tecnologías de la actualidad, se considera una solución ergonómica. Este concepto de solución tiene una alta cantidad de piezas y necesitará más tiempo de programación que otras soluciones para el correcto funcionamiento. El precio de los componentes electrónicos es elevado. Los propulsores son los componentes críticos, pero esta solución emplea un método de desplazamiento que reduce la carga que actúa sobre estos componentes, con el inconveniente de que el ruido al medioambiente aumenta.

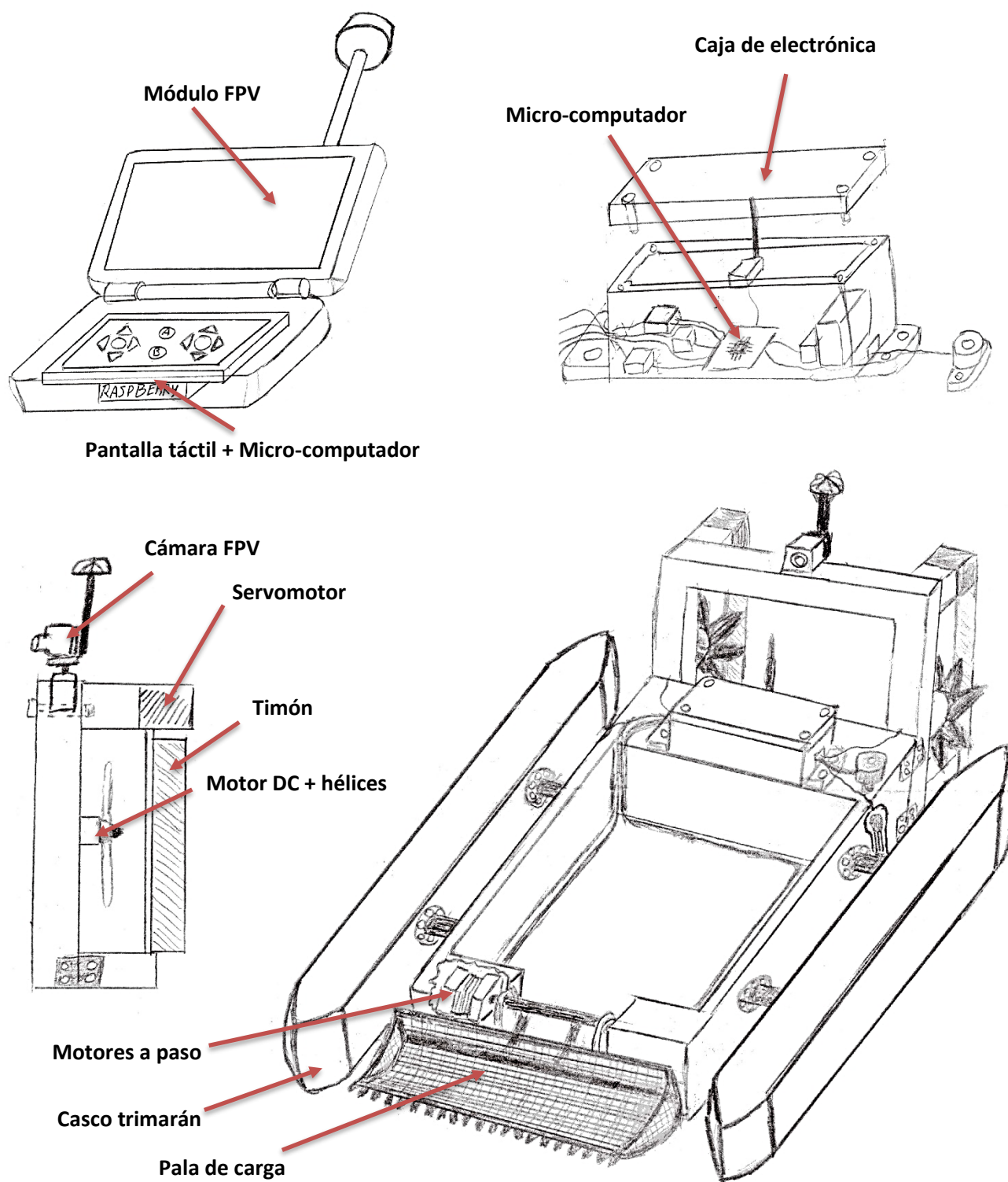


Figura 41. Tercer concepto de solución

En la tabla 9 se muestra una comparación de las características de los tres conceptos de solución, las celdas de coloración verde indican que la característica es óptima, amarillo intermedias y rojo características no óptimas.

**Tabla 9. Cuadro comparativo de las soluciones propuestas**

	<b>Aspecto</b>	<b>Característica</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>
<b>Vehículo Marino</b>	<b>Casco del vehículo</b>	Complejidad de forma del casco	simple	medio	medio
		Cantidad de piezas del casco	uno	tres	mayor a 10
		Precio de fabricación	alto	medio	medio
	<b>Recolector del vehículo</b>	Ritmo de recolección	continua	continua	periódica
		Capacidad de recolección	alta	alta	media
		Uso de energía	alto	bajo	medio
	<b>Locomoción del vehículo - propulsión y dirección</b>	Cantidad de piezas de los sistemas	tres	dos	seis
		Precio de los componentes	medio	medio	bajo
		Complejidad de programación	bajo	medio	bajo
		Uso de energía	medio	bajo	bajo
<b>Mando de Control</b>	<b>Electrónica</b>	Complejidad del sistema electrónico	bajo	medio	medio
		Cantidad de piezas empleadas	bajo	alto	medio
		Precio de componentes electrónicos	alto	bajo	medio
	<b>Programación</b>	Complejidad de programación	mínima	media	alta
	<b>Energía</b>	Uso de energía	medio	bajo	alto

### **3.5.Evaluación de los conceptos de solución**

Teniendo los tres conceptos de solución detallados a nivel de funcionamiento y costos, el siguiente paso en la metodología de diseño consiste en realizar una evaluación técnica-económica con la finalidad de seleccionar la solución óptima sobre la cual se realizará el diseño preliminar.

#### **3.5.1. Evaluación técnica**

La evaluación técnica se enfoca en los componentes que conforman el sistema y su rendimiento. Se realiza una evaluación técnica (Valor X) sobre las soluciones propuestas con los criterios descritos a continuación:

- Forma del casco: hace referencia al nivel de detalle que requerirá el modelo para ser diseñado, a mayor complejidad de diseño, mayor dificultad su implementación (Peso 2).
- Capacidad de recolección: indica la cantidad de residuos sólidos puede almacenar el vehículo a partir de sus características (Peso 3).
- Velocidad de recolección: evalúa la velocidad con la que el sistema recolecta los residuos sólidos (Peso 3).
- Uso de recursos: Estima la eficiencia del sistema dada la cantidad de energía y componentes que requiere la solución (Peso 3).
- Diseño de locomoción: evalúa la complejidad del sistema de locomoción propuesto para la solución (Peso 2).
- Fabricación: se evalúa si las piezas principales del sistema son fáciles de producirse (Peso 2).
- Montaje: evalúa la cantidad de piezas usadas en el vehículo marino (Peso 2)

- Uso-durabilidad: Evalúa las piezas críticas del modelo y si está garantizado la durabilidad del sistema (Peso 1).
- Complejidad del mando de control: evalúa la complejidad de implementación del sistema de control (Peso 2).
- Complejidad de programación: evalúa la complejidad de programación, tanto del mando de control como del vehículo marino (Peso 1).

### **3.5.2. Evaluación económica**

La evaluación económica se enfoca en los costos presentes en la realización del sistema. Se realiza una evaluación económica (Valor Y) sobre las soluciones propuestas con los criterios descritos a continuación:

- Costo de la tecnología - Vehículo: evalúa el precio de los componentes eléctricos y electrónicos del vehículo marino. (Peso 3)
- Costo de implementación - Mando: evalúa la accesibilidad a la tecnología y los costos de implementación del mando de control. (Peso 2)
- Costo de Fabricación: evalúa el costo de fabricación del vehículo marino, su armazón, sistema de locomoción y recolector. (Peso 2)
- Costo de mantenimiento: evalúa el precio en el mercado de la pieza crítica de las soluciones propuestas. (Peso 1)

### 3.5.3. Solución óptima

En la tabla 10 se muestra los resultados de la evaluación técnico-económica de las 3 soluciones propuestas. Los puntajes se encuentran relacionados a la información recopilada en la tabla 10 que trata diversos aspectos detallados para cada solución.

**Tabla 10. Evaluación Técnico-Económica de los 3 conceptos de solución**

Valor Técnico Xi			Solución 1		Solución 2		Solución 3	
N	Criterio	G	P	GP	P	GP	P	GP
1	Forma del Casco	2	4	8	3	6	3	6
2	Capacidad de recolección	3	4	12	4	12	3	9
3	Velocidad de recolección	3	3	9	4	12	2	6
4	Uso de recursos	3	1	3	3	9	2	6
5	Diseño de locomoción	2	3	6	4	8	2	4
6	Fabricación	2	2	4	3	6	3	6
7	Montaje	2	4	8	3	6	1	2
8	Uso-durabilidad	1	2	2	3	3	4	4
9	Complejidad del mando de control	2	4	8	3	6	3	6
10	Complejidad de programación	1	4	4	2	2	1	1
Suma			31	64	32	70	24	50
Promedio			0.76		0.83		0.60	
Valor Económico Yi			Solución 1		Solución 2		Solución 3	
N	Criterio	G	P	GP	P	GP	P	GP
1	Costo de la tecnología	3	2	6	3	9	3	9
2	Costo de implementación	2	2	4	4	8	2	4
3	Costo de fabricación	2	2	4	3	6	3	6
4	Costo de mantenimiento	1	3	3	3	3	4	4
Suma			9	17	13	26	12	23
Promedio			0.53		0.81		0.71	

Dado los valores obtenidos en la evaluación técnico-económica, se realiza una evaluación de los promedios obtenidos en cada criterio en un gráfico de dispersión presentado en la figura 42, del cual se concluye que la segunda solución resulta con el mayor puntaje y es la considerada solución óptima para el objetivo de este proyecto.

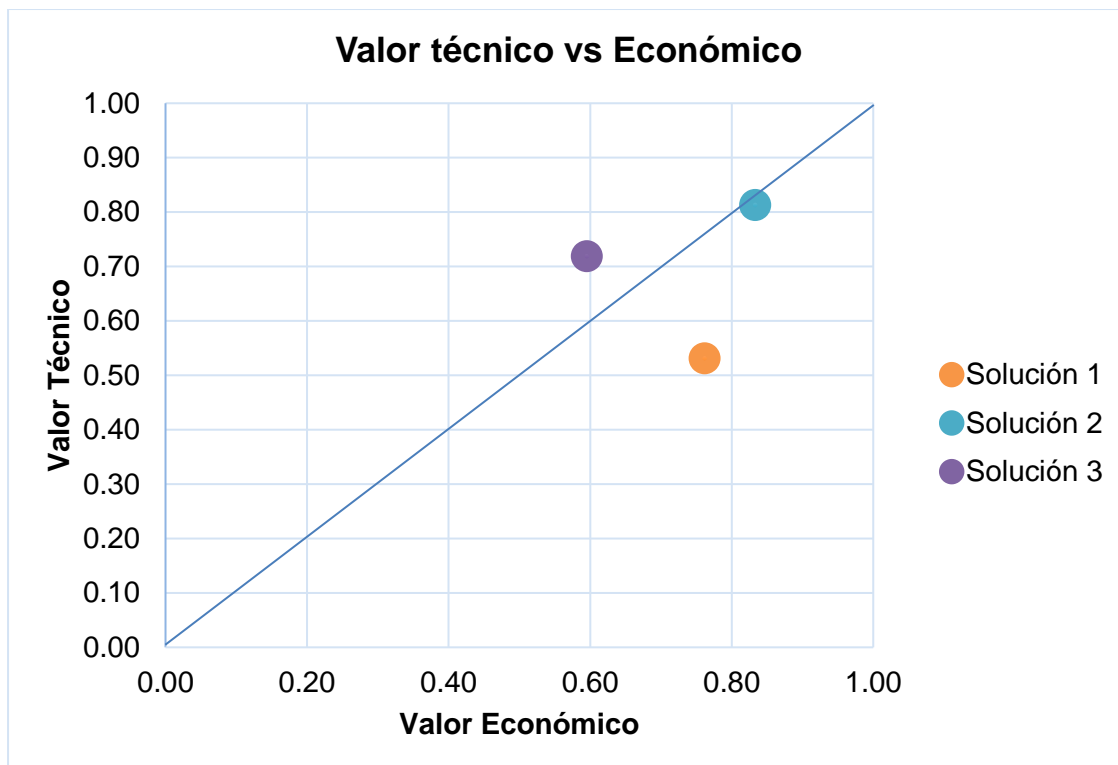


Figura 42. Grafico técnico-económico de las propuestas de solución



## Capítulo 4

### Diseño Preliminar

En el presente capítulo se desarrolla el diseño preliminar del sistema teleoperado de vehículo-mando. Se abarca el diseño mecánico, electrónico y diagrama de operaciones del vehículo marino y del mando de control. El diseño mecánico abarca el diseño de la forma, dimensiones y distribución de los periféricos. En el diseño electrónico se establece la arquitectura del hardware. Finalmente, se presenta un diagrama de operaciones para los dispositivos.

#### 4.1. Diseño mecánico

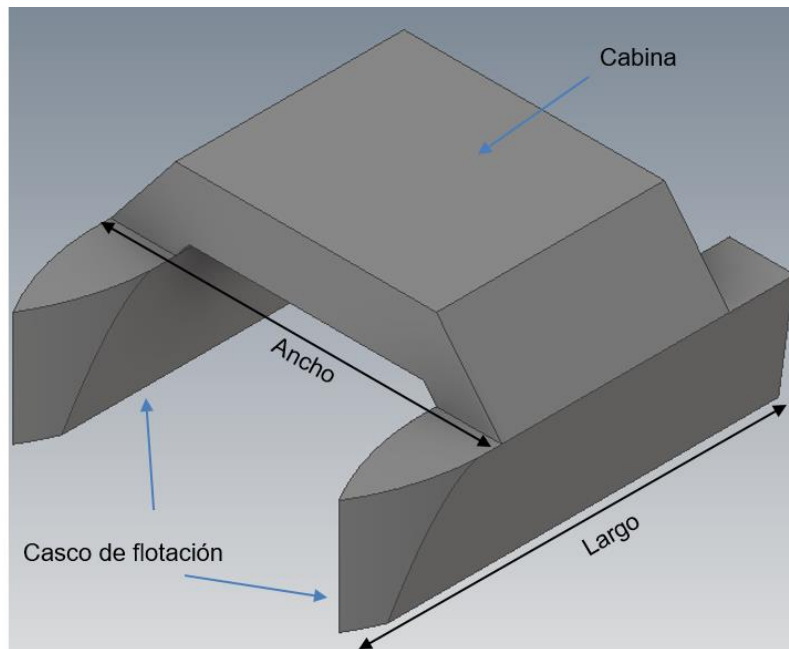
En esta sección se presenta el desarrollo del aspecto mecánico del vehículo y del mando de control. Para ambos dispositivos se propone la forma, el tamaño de la estructura y la disposición de sus componentes principales.

##### 4.1.1. Vehículo

La estructura seleccionada para implementar es un modelo de casco catamarán, un barco con dos cascos paralelos que posee una resistencia hidrodinámica menor que los cascos convencionales. La sección que une ambos cascos se denomina cabina, en ella se albergarán tanto los componentes electrónicos como el sistema de video.

En la Figura 43 se presenta el diseño de la forma planteada en la etapa anterior, se aprecian las 3 piezas que conforman la estructura de casco catamarán, dos cascos de flotación unidos a una cabina. El largo del vehículo debe ser superior al ancho para mejorar la estabilidad durante la propulsión. El espacio entre los cascos y su altura dan un espacio el cual se puede emplear como ambiente de almacenamiento de residuos sólidos flotantes.

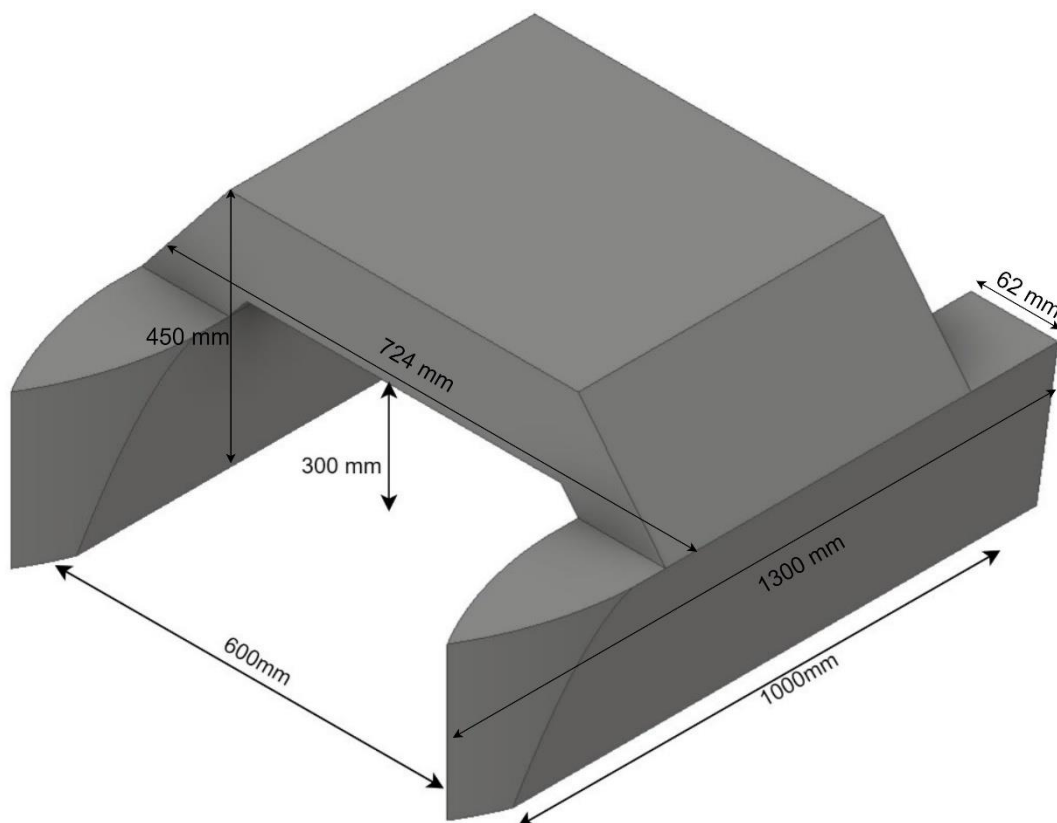
La profundidad con la que se sumerge el vehículo depende del peso del mismo, pero también del volumen del elemento, es por ello que los cascos de flotación se diseñan de forma más alargada para ocupar más volumen en la zona de contacto con el agua.



**Figura 43. Forma preliminar de la estructura del vehículo**

En los requerimientos del sistema se estableció un peso máximo de 20 kilogramos para el vehículo marino, además de un largo máximo de 1500 milímetros. Según la solución óptima, el diseño del casco requiere que el vehículo flote sobre 2 apoyos. Se dimensiona el vehículo inicialmente con 1300 mm en su longitud.

En la figura 44 se presenta las dimensiones preliminares del vehículo. Las dimensiones generales del vehículo son 1300mm de largo y 62 mm el ancho del casco. Otras características que posibilitan el dimensionamiento es la capacidad de almacenamiento según los requisitos. Escogiendo un volumen para el almacenamiento de 1000mm de ancho, 600mm de largo y 300mm de altura, se obtiene el volumen preliminar de 0.18m<sup>3</sup>, con lo cual se cumple con el requisito del sistema. En base a lo anterior, se propone que las dimensiones del largo del vehículo y la altura de este sean de 450mm y 724mm respectivamente.



**Figura 44. Dimensiones generales preliminares**

En la Figura 45 se muestra la disposición de los componentes eléctricos y electrónicos en el vehículo marino, dos propulsores brushless para la locomoción se ubican en la parte posterior del vehículo. El área encerrada en rojo es la zona reservada para la recolección de materia flotante que empleará una red de pesca o productos similares. En la cabina se cuenta con componentes electrónicos en el interior, por encima de esta se encuentra el sistema de transmisión de video y señales de control presentes en forma de antenas. Sobre el vehículo también está presente la cámara y la sirena electrónica.

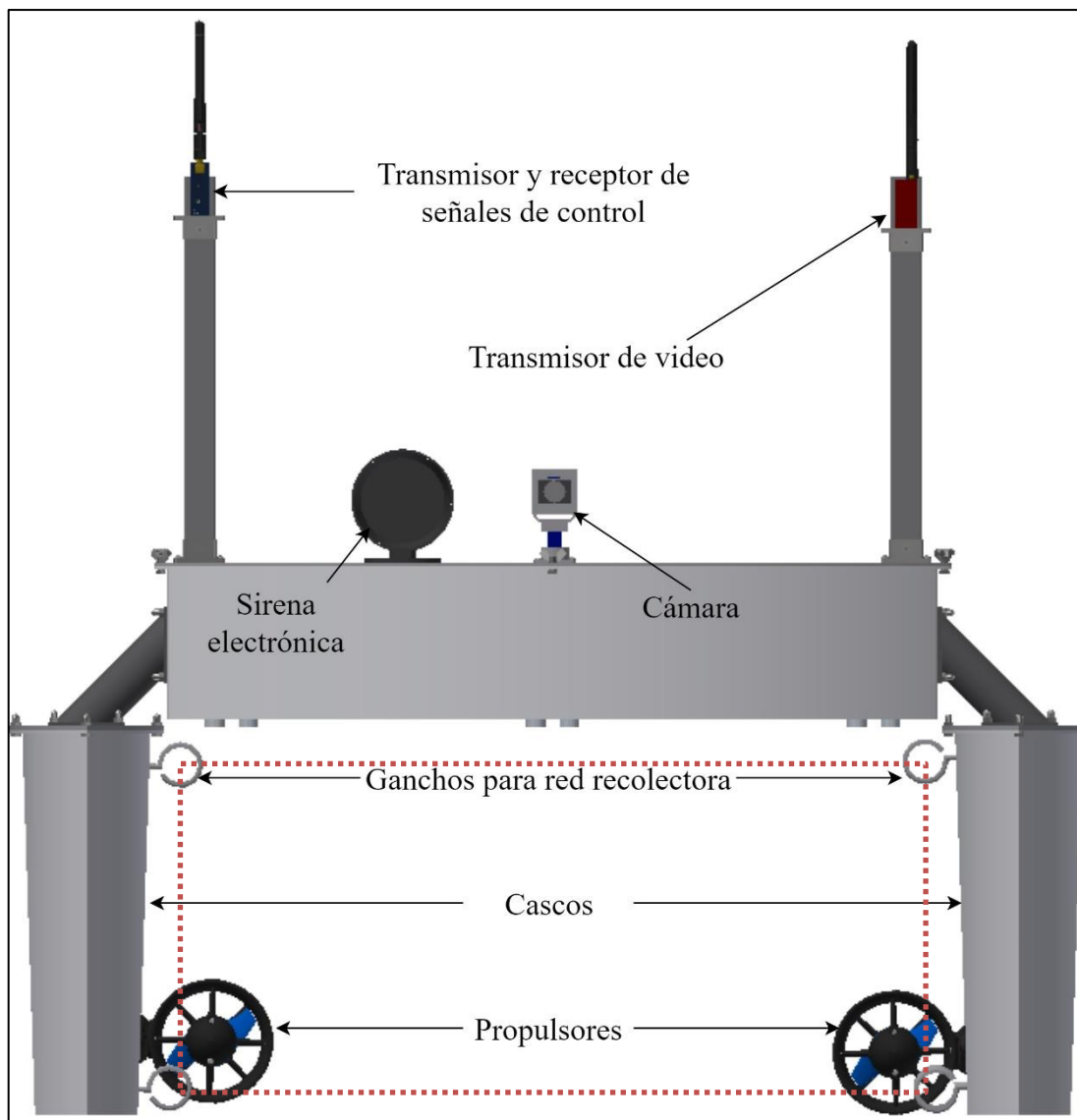


Figura 45. Disposición de componentes en el vehículo marino

#### 4.1.2. Mando de control

La forma del mando de control es importante para brindar ergonomía al dispositivo, la carcasa debe presentar puntos de apoyo para mejorar el agarre del operador e igualmente debe poseer redondeos en las esquinas para evitar filos que puedan ocasionar cortes al ser manipulado. En la figura 46 se propone la forma de la carcasa del mando de control, mostrándose los puntos de apoyo y redondeos.

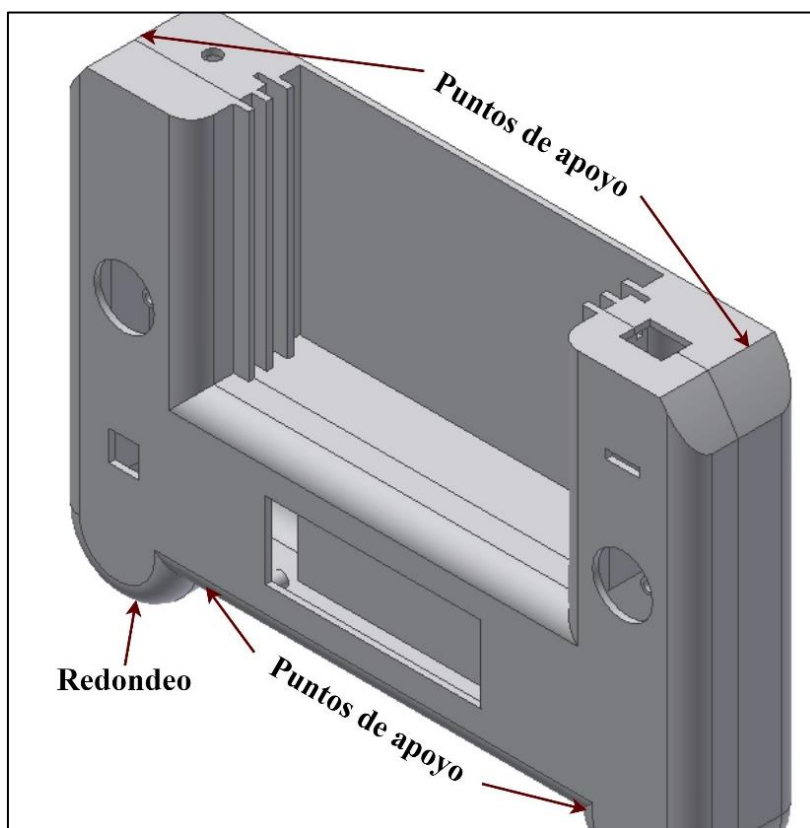
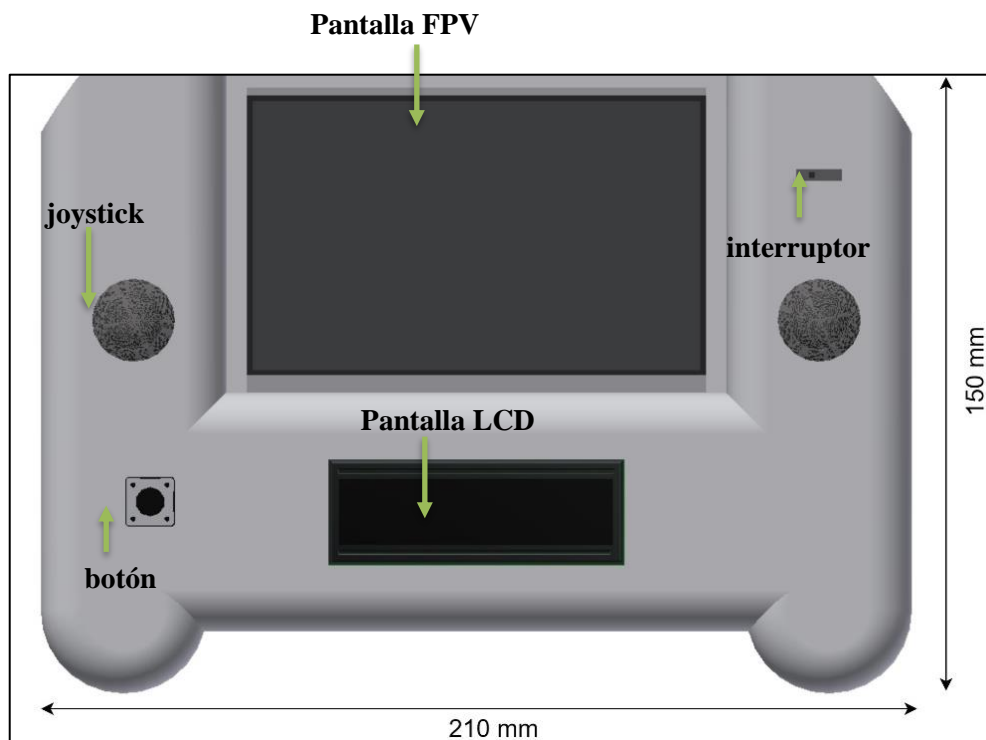


Figura 46. Forma de la carcasa de acuerdo a ergonomía

El tamaño del mando de control según los requisitos debe encontrarse dentro del rango de productos comerciales portátiles, tomando como ejemplo el dispositivo portátil “iPad Pro” que mide aproximadamente 240 mm x 180 mm en su cara principal. En la figura 47 se presenta la disposición física de algunos de los componentes electrónicos que pueden estar presentes en el concepto de solución.



**Figura 47. Componentes y dimensiones preliminares del mando de control**

## 4.2. Diseño electrónico

En este apartado se presenta la arquitectura del hardware tanto del vehículo como del mando de control. La arquitectura del hardware implica proponer los dispositivos físicos y las interconexiones entre estos para el correcto funcionamiento del sistema general.

### 4.2.1. Vehículo

En la figura 48 se presenta la arquitectura de hardware del vehículo marino de acuerdo a los requerimientos del sistema y los componentes propuestos de la solución óptima.

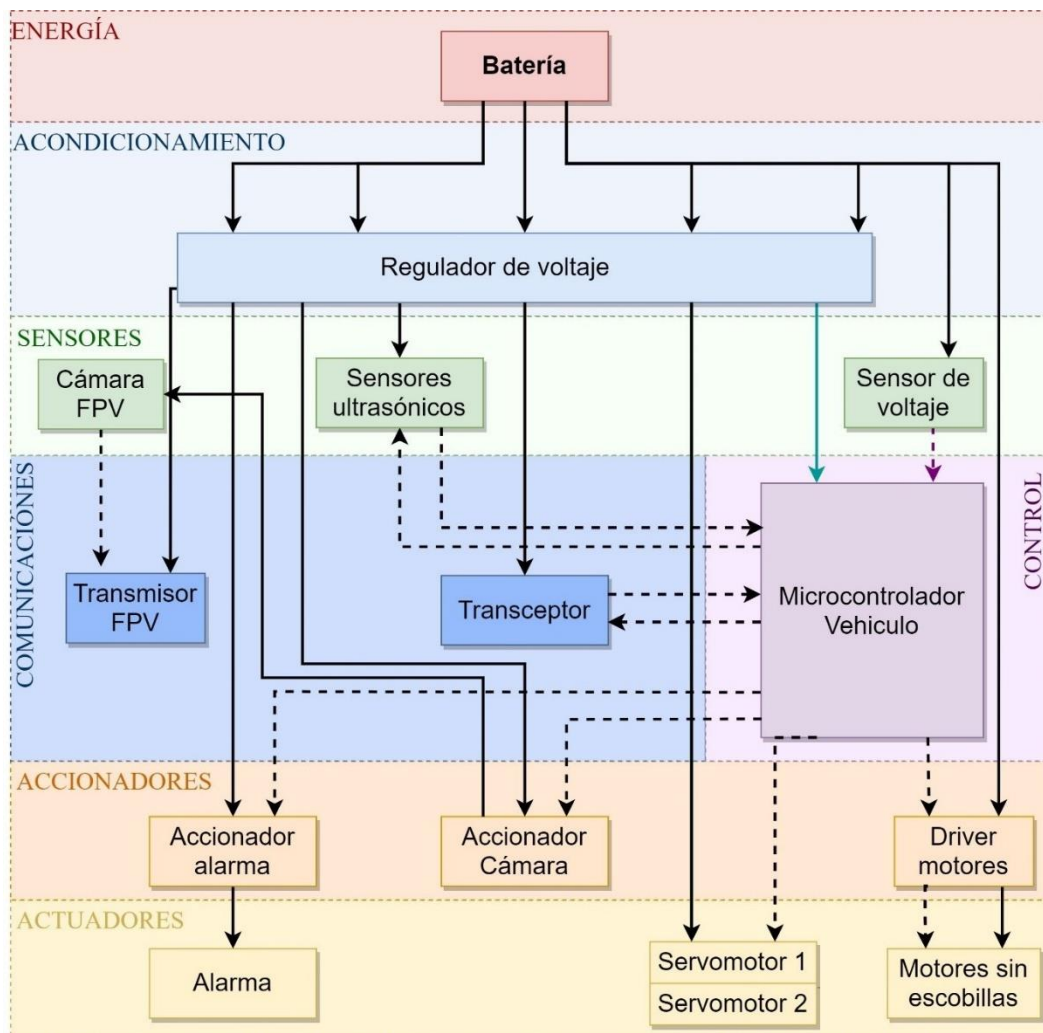


Figura 48. Arquitectura de hardware del vehículo marino

#### 4.2.2. Mando de control

En la figura 49 se presenta la arquitectura del hardware del mando de control, en este diagrama se presenta los componentes indispensables para el funcionamiento del dispositivo y las conexiones entre componentes.

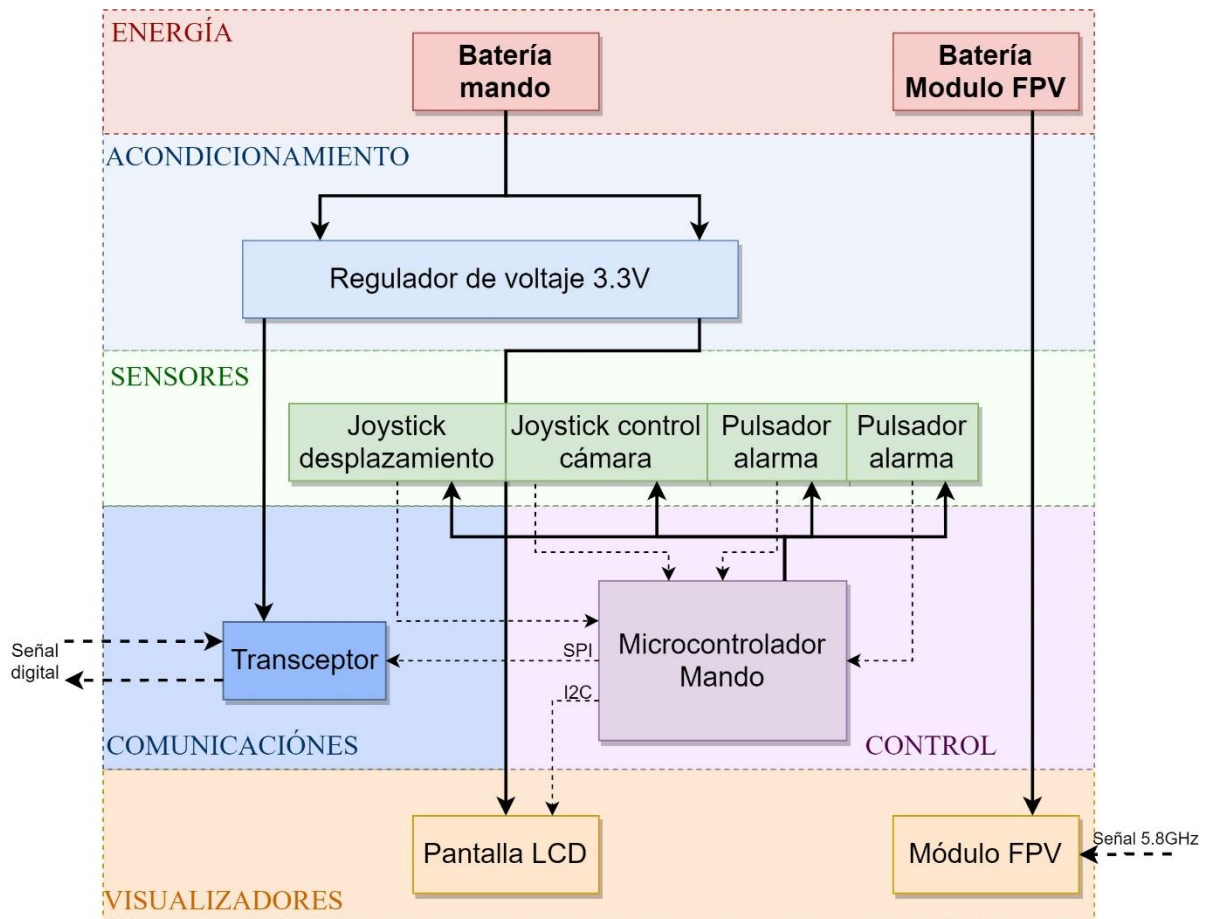


Figura 49. Arquitectura de hardware del mando de control



### 4.3. Diagrama de operaciones

En la figura 50 se presenta el diagrama de operaciones de la solución preliminar propuesta. Los recuadros verdes indican el inicio del proceso para ambos dispositivos. En azul se representa el ingreso de datos por parte del operador y en gris se representa la salida de señales tanto para visualizar como para actuar sobre el sistema.

Ambos dispositivos requieren ser encendidos para empezar a operarse, cuando el mando de control reciba datos, estos serán enviados al vehículo, al ser recibidos se devolverán datos de los sensores. Con la información que posee cada dispositivo cada uno procederá a utilizarla, el mando de control visualizará en una pantalla LCD la información obtenida y el vehículo realizará los movimientos que se le haya ordenado. También se envía e imprime las señales de video, pero el proceso es paralelo.

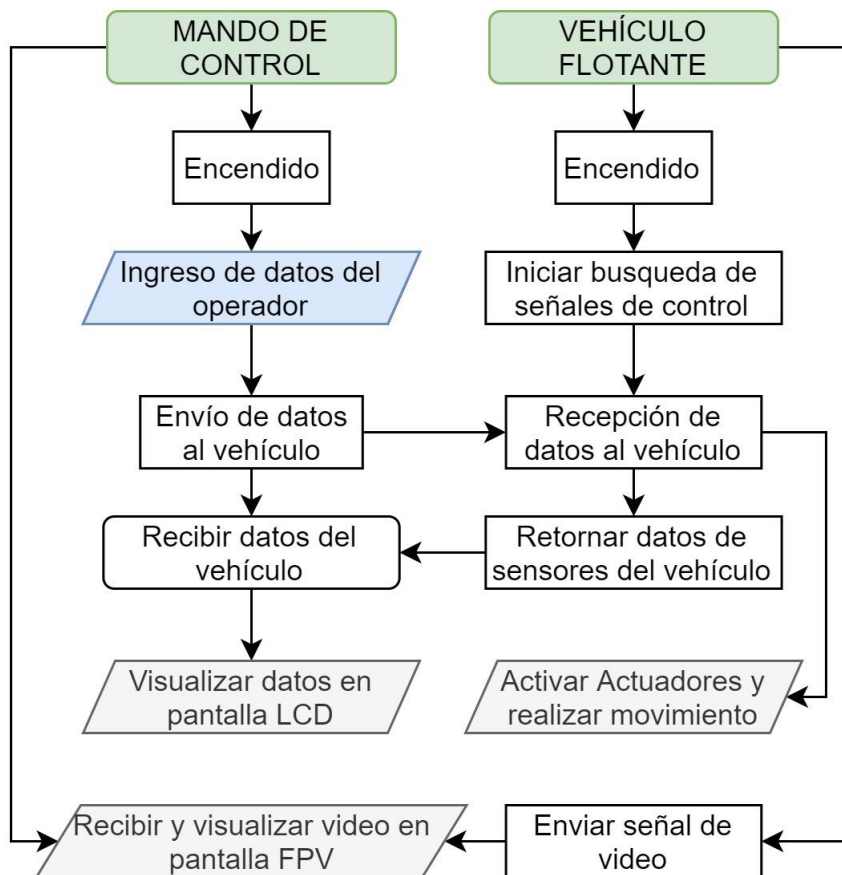


Figura 50. Diagrama de operaciones del sistema mando-vehículo teleoperado

## CONCLUSIONES

Luego de realizar la investigación del estado y parámetros del humedal de los Pantanos de Villa se concluye que la reserva natural en riesgo requiere una solución tecnológica específica para lidiar con la situación actual. Se propone como objetivo diseñar un sistema teleoperado para reducir el impacto de la intervención humana sobre el humedal, con capacidad de desplazamiento en los canales angostos del humedal y que tenga la funcionalidad de recolectar residuos sólidos que se encuentren flotando en la superficie.

Se concluye que la solución propuesta es innovadora debido a que opera con energía eléctrica y posee una capacidad de almacenamiento superior a otros productos a pequeña escala. Además, implementa un sistema de monitoreo a distancia mediante una cámara integrada en el vehículo y un sistema de comunicación. El método de recolección propuesto es similar a la actividad de pesca en el cual no involucra consumo de energía adicionales para recoger residuos, sino que aprovecha el movimiento habitual del vehículo para capturar los residuos que encuentra a su paso.

El diseño de un vehículo flotante teleoperado tiene potencial en el desarrollo de otras actividades aparte de la recolección de residuos sólidos, tal como adquisición de datos sobre la calidad del agua y el clima, exploración de humedales para la catalogación de nuevas especies de animales y plantas. El concepto de vehículo propuesto en este documento puede utilizarse de base para un desarrollo más detallado e incluso implementar nuevas funcionalidades.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arnaldoa. (30 de Agosto de 2018). *Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa, Lima, Perú*. Obtenido de SciELO Perú:  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2413-32992018000200019](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992018000200019)
- Chávez, J. L. (2017). *Diseño de plataforma de acople y MINIROV para vehiculos marinos de superficie*. Tesis de Bachillerato, PUCP, Lima, Lima.
- Cleantec Infra. (4 de Marzo de 2020). *Floating Trash Skimmer*. Recuperado el 7 de Abril de 2019, de <https://www.cleantecinfra.com/trash-skimming>
- Dorotea Mekaniska AB. (4 de Marzo de 2020). *Truxor amphibious machine*. Recuperado el 7 de Abril de 2019, de <https://doroteamekaniska.se/en/truxor-dm-5000-2>
- El Comercio. (02 de Marzo de 2017). *Basura, plomo y mercurio: desoladora realidad del lago Titicaca*. Obtenido de El Comercio: <https://elcomercio.pe/peru/puno/basura-plomo-mercurio-desoladora-realidad-lago-titicaca-142332?foto=6>
- El Comercio. (16 de Julio de 2018). *PTAR Titicaca: ProInversión convoca concurso público*. (El Comercio) Recuperado el 06 de Abril de 2019, de <https://elcomercio.pe/economia/proinversion-convoca-concurso-publico-internacional-concesionar-ptar-titicaca-noticia-536672>
- Fernández, C. (26 de Febrero de 2017). *Camal y botadero contaminan los Pantanos de Villa*. Obtenido de El Comercio: <https://elcomercio.pe/lima/camal-botadero-contaminan-pantanos-villa-405930>
- Granados, A. R. (2014). *Diseño de un Vehículo Submarino Autónomo*. Lima: Tesis PUCP.
- INEI. (2015). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015*. Lima: INEI.
- Infociclaje. (s.f.). *Residuos Sólidos*. (Infociclaje) Recuperado el 6 de Abril de 2019, de <http://www.infociclaje.com/residuos-solidos.php>
- Moreno, H., Saltarén, R., & Puglisi, L. (2014). Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 1(11), 3-19.
- Muni Lima. (9 de Febrero de 2019). *Twitter - Muni Lima*. Obtenido de Twitter: <https://twitter.com/munilima/status/1094299367736045568>
- Omnipresent Robot Tech. (4 de Marzo de 2020). *RO-BOAT River Cleaning Robot*. Recuperado el 7 de Abril de 2019, de <https://sites.google.com/a/omnipresenttech.com/omnipresentrobotics/our-robots-products/ro-boat-river-cleaning-robot>
- RANMARINE TECHNOLOGY. (4 de Marzo de 2020). *Models: WasteShark*. Recuperado el 7 de Abril de 2019, de WasteShark: <https://www.wasteshark.com>

SENARP. (26 de Marzo de 2019). *tramites:Senarp*. Obtenido de Senarp Perú:  
<http://www.sernanp.gob.pe/voluntariado>

Sernanp. (29 de Marzo de 2019). *Los Pantanos de Villa*. Obtenido de Sernanp :  
<http://www.sernanp.gob.pe/los-pantanos-de-villa>

SPDA. (29 de Enero de 2019). *Perú: Conoce los 13 humedales más importantes para la biodiversidad y supervivencia humana*. Obtenido de Actualidad Ambiental:  
<http://www.actualidadambiental.pe/?p=54231>

Wetlands International. (27 de Marzo de 2019). *¿Por qué son importantes los humedales?* Obtenido de Wetlands: <https://lac.wetlands.org/humedales/su-importancia/>

梁华锦, 管. 张. (7 de Abril de 2013). *China Patente nº CN102020004B*.

郭柏林申江丽冯方舟. (3 de Diciembre de 2008). *China Patente nº CN201158816Y*.

龙文凯, 薛. (25 de Mayo de 2016). *China Patente nº CN205256599U*.