



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

TEMA: DESARROLLO DE UN USV PARA LA RECOLECCIÓN DE DESECHOS EN LA SUPERFICIE DE AGUAS LÉNTICAS.

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

AUTORES: Alexander Geovanny Sánchez Pazmiño
Luis David Suárez Carpio
TUTOR: Jorge Bladimir Fariño Cedeño

Guayaquil - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Alexander Geovanny Sánchez Pazmiño** con documento de identificación N° **0951213875** y **Luis David Suárez Carpio** con documento de identificación N° **0950474320**; manifestamos que:

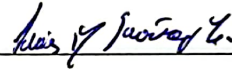
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 04 de marzo del año 2023

Atentamente,



Alexander Geovanny Sánchez Pazmiño
0951213875



Luis David Suárez Carpio
0950474320

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

Nosotros, **Alexander Geovanny Sánchez Pazmiño** con documento de identificación N° **0951213875** y **Luis David Suárez Carpio** con documento de identificación N° **0950474320**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DESARROLLO DE UN USV PARA LA RECOLECCIÓN DE DESECHOS EN LA SUPERFICIE DE AGUAS LÉNTICAS**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

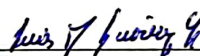
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 04 de marzo del año 2023

Atentamente,



Alexander Geovanny Sánchez Pazmiño
0951213875



Luis David Suárez Carpio
0950474320

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jorge Bladimir Fariño Cedeño**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN USV PARA LA RECOLECCIÓN DE DESECHOS EN LA SUPERFICIE DE AGUAS LÉNTICAS**, realizado por **Alexander Geovanny Sánchez Pazmiño** con documento de identificación N° **0951213875** y por **Luis David Suárez Carpio** con documento de identificación N° **0950474320**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 04 de marzo del año 2023

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jorge Fariño Cedeño', is written over a horizontal line. The signature is stylized and includes a large loop at the end.

Ing. Jorge Bladimir Fariño Cedeño, Mg.
0914335484

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación esta dedicado a mis padres: Alexander Giovanni Sánchez Sornoza y Myriam Filomena Pazmiño Soria; hermanos: Alexandra, Miriam y Luis, y a mis abuelos: Luis Enrique Sánchez Estrada y Sonia Jesús Sornoza Mendoza, que siempre han estado en todo momento apoyándome, dándome alegrías y brindándome disciplina, respeto y amor.

En especial agradezco a mi padres y abuelos que nunca dejaron de apoyarme con los estudios y que tanto a mi como a mis hermanos nos han brindado su mayor esfuerzo, dedicación, amor y gracia.

Alexander Geovanny Sánchez Pazmiño

Quiero dedicar mi tesis a las personas que más amo y que han sido mi fuerza y motivación a lo largo de toda mi vida: mis padres Luis Anibal Suárez Tapia y Pilar de Jesús Carpio Usiña, mi familia y mi enamorada.

A mis padres, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome amor, apoyo y motivación en cada etapa de mi vida. Su inquebrantable compromiso con mi educación me ha ayudado a superar obstáculos y a alcanzar mis metas.

A mi familia, quienes siempre me han dado aliento y han creído en mí. Su apoyo incondicional y su fe en mi capacidad me han ayudado a mantener la concentración y la determinación para superar los momentos más difíciles.

Y a mi enamorada, quien ha sido una luz en mi vida y una fuente inagotable de amor, paciencia y comprensión. Su presencia en mi vida ha sido una bendición y estoy agradecido por todo lo que ha hecho por mí.

Esta tesis es el resultado de su amor, apoyo y motivación, y quiero dedicarla con todo mi corazón a estas personas especiales que han hecho una diferencia en mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado y por ser mi mayor motivación.

Luis David Suárez Carpio

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a la noble institución Universidad Politécnica Salesiana por permitir que pueda formarme como profesional. Además, agradezco su noble y transparente apoyo a todos los jóvenes que decidimos formarnos como personas de bien con valores y ética para con el beneficio de la sociedad.

También agradezco a todos los docentes y compañeros con los que me toco recibir clases, ya que ellos me brindaron sus conocimientos y experiencias que me permiten mejorar día a día. Valoro la entrega y el nivel de profesionalismo de cada docente, que en mis 5 años de estudio nunca vi una actitud negativa hacia mi o mis compañeros.

Por último, agradezco a mi compañero de tesis que siempre se esforzó como yo, y que nunca tiro la toalla cuando más se creía que no se podía conseguir culminar con éxito nuestro proyecto.

Alexander Geovanny Sánchez Pazmiño

Hoy, finalmente, puedo decir que he terminado mi tesis. Y aunque es mi nombre el que aparecerá en la portada, sé muy bien que esto no habría sido posible sin la ayuda y el apoyo de muchas personas importantes en mi vida.

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, quienes siempre han estado a mi lado, ofreciéndome su amor y su apoyo incondicional. Gracias por creer en mí, por escucharme y por ayudarme a superar los momentos difíciles. Sin su amor y su paciencia, nunca habría podido llegar tan lejos.

También quiero agradecer a mi compañero de tesis, quien me ayudó a dar vida esta idea de proyecto. Gracias por tu paciencia, por compartir tus ideas y por ayudarme a encontrar las respuestas a las preguntas más difíciles. Tu colaboración ha sido invaluable, y nunca olvidaré lo que hemos logrado juntos.

A mi familia, quiero agradecerles por el ánimo y el apoyo que me han brindado en todo momento. Gracias por estar siempre ahí para escucharme, por darme fuerzas cuando más lo necesitaba y por celebrar mis triunfos junto a mí. Vuestra presencia y amor me han dado la fortaleza necesaria para continuar en momentos de incertidumbre.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mi enamorada, quien me ha brindado un amor y apoyo incondicional. Su paciencia, aliento y comprensión han sido fundamentales para mi éxito y felicidad. Su presencia en mi vida ha sido una bendición y estoy agradecido por todo lo que ha hecho por mí. A todos ustedes, amigos y familiares, gracias por ser parte de este camino. Vuestras contribuciones han sido invaluable, y nunca olvidaré todo lo que han hecho por mí. Espero poder devolver vuestro amor y apoyo en el futuro.

Luis David Suárez Carpio

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un vehículo de superficie no tripulado (USV) capaz de recolectar desechos flotantes sobre la superficie de cuerpos de agua lénticas. El dispositivo en cuestión consta de dos sistemas fundamentales: el sistema de propulsión y el sistema de control. El primero utiliza propulsores controlados por radiofrecuencia para permitir que el dispositivo se desplace sobre la superficie del agua. El segundo sistema, por su parte, está diseñado para monitorear y recopilar datos sobre los desechos que se encuentran en la superficie del agua. Este sistema de control utiliza un modelo de aprendizaje automático en conjunto con un sistema de geoposicionamiento global para detectar y rastrear los desechos.

Para el monitoreo y adquisición de datos, se empleará un Raspberry Pi, el cual se programará utilizando el lenguaje Python para establecer las disposiciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema. En resumen, el desarrollo de este vehículo permitirá una recolección eficiente de los desechos flotantes en cuerpos de aguas lénticas, lo que contribuirá de manera significativa a la limpieza y preservación de estos ecosistemas acuáticos.

Palabras claves: vehículo de superficie no tripulado, recolección de desechos, sistema de propulsión, sistema de control, monitoreo de datos, modelo de aprendizaje automático, sistema de geoposicionamiento global, Raspberry Pi, lenguaje Python, preservación de ecosistemas acuáticos.

ABSTRACT

This project aims to develop an unmanned surface vehicle (USV) capable of collecting floating waste from the surface of stagnant bodies of water. The device comprises two fundamental systems: the propulsion system and the control system. The former uses radiofrequency-controlled thrusters to enable the device to move over the surface of the water. The latter is designed to monitor and collect data on the waste found on the water's surface. This control system uses a machine learning model in conjunction with a global positioning system to detect and track the waste.

To monitor and acquire data, a Raspberry Pi will be used, which will be programmed using Python to establish the necessary provisions for the proper functioning of the system. In summary, the development of this vehicle will allow efficient collection of floating waste in stagnant bodies of water, which will contribute significantly to the cleaning and preservation of these aquatic ecosystems.

Keywords: unmanned surface vehicle, waste collection, propulsion system, control system, data monitoring, machine learning, global positioning system, Raspberry Pi, Python programming, aquatic ecosystem preservation.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	14
II. PROBLEMA	15
III. JUSTIFICACIÓN	15
IV. OBJETIVOS	15
IV-A. Objetivo General	15
IV-B. Objetivos Específicos	15
V. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
V-A. Robótica de servicio	16
V-B. Vehículos no tripulados	17
V-B1. Vehículos de superficie no tripulados	17
V-C. Recolección de desechos marítimos	20
V-D. Parámetros de diseño mecánico	20
V-D1. Flotación	20
V-D2. Estabilidad	21
V-D3. Estanqueidad	22
V-E. Tipos de embarcaciones	22
V-F. Partes de una embarcación	23
V-G. Tipos de cascos	23
V-H. Procesamiento y control	24
V-H1. Raspberry Pi	24
V-H2. Radio control	24
V-H3. Controlador electrónico de velocidad	25
V-I. Sensores	25
V-I1. Módulo de cámara	25
V-I2. Sistema de posicionamiento global	25
V-J. Alimentación	25
V-J1. Baterías de Li-Po	25
V-J2. Regulador de voltaje DC-DC	25
V-K. Propulsión	25
V-K1. Propulsores	25
V-L. Lenguaje de programación	26
V-L1. Python	26
V-M. Aprendizaje automático	27
V-M1. Modelo de aprendizaje automático	27
V-N. Cálculos	27
V-N1. Cálculo del casco	27
V-N2. Cálculo de la carga máxima	29
V-N3. Cálculo de la manga entre los centros de los cascos	29
V-N4. Cálculo de la estabilidad	29
V-N5. Cálculo de la fuerza de propulsión	30
V-Ñ. Materiales	32
V-Ñ1. Poliestireno expandido	32
V-Ñ2. Aleación de aluminio	33
V-Ñ3. Hierro negro	33
V-Ñ4. Fibra de vidrio	33

VI. MARCO METODOLÓGICO	33
VI-A. Diseño del USV	33
VI-A1. Diseño preliminar	33
VI-A2. Diseño final	34
VI-B. Elección de componentes del USV	37
VI-B1. Elección del sistema de propulsión	38
VI-B2. Elección del sistema de comunicación	44
VI-B3. Elección del sistema GNC	45
VI-B4. Elección del sistema de equipos de recopilación de datos	47
VI-B5. Elección del sistema de alimentación	48
VI-B6. Elección del sistema eléctrico	52
VI-C. Fabricación	53
VI-C1. Cascos	55
VI-C2. Soportes	58
VI-C3. Depósito de recolección	58
VI-D. Ensamblaje	59
VI-D1. Soportes para la parte inferior de la caja	59
VI-D2. Soportes para la parte superior de la caja	59
VI-D3. Depósito de recolección	60
VI-D4. Propulsores	60
VI-D5. Sistema eléctrico	60
VI-E. Distribución de componentes	61
VI-F. Calibración del sistema de propulsión	62
VI-G. Configuración y programación del transmisor para el sistema de propulsión	63
VI-H. Programación de algoritmos de localización para el sistema GPS	65
VI-I. Entrenamiento del modelo de aprendizaje automático para el sistema de identificación de residuos	66
VI-J. Instalación de librerías necesarias para la ejecución del modelo de aprendizaje automático	68
VII. RESULTADOS	69
VII-A. Prueba del sistema de propulsión	69
VII-B. Prueba de la recolección de residuos	69
VII-C. Prueba del sistema GPS	70
VII-D. Prueba del sistema de identificación de residuos	71
VII-E. Implementación de los sistemas GPS y de identificación de residuos al USV	72
VII-F. Análisis de datos recopilados por el GPS y el identificador de residuos para optimizar la gestión de residuos sólidos flotantes	72
VIII. CRONOGRAMA	75
IX. PRESUPUESTO	76
X. CONCLUSIONES	76
XI. RECOMENDACIONES	77
Apéndice A: Planos	80
Apéndice B: Equipos de Manufactura	89
Apéndice C: Programación	93

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Arquitectura de un USV típico [20]	18
2. Vehículo de superficie no tripulado ESM30 [9]	19
3. Vehículo de superficie no tripulado SAL40 [9]	19
4. Vehículo de superficie no tripulado UCAP [22]	19
5. Dispositivo de limpieza The Interceptor 004 junto a Boyan Slat [33]	20
6. Vehículo de superficie no tripulado Wasteshark [28]	20
7. Embarcación en equilibrio estable [25].	21
8. Comportamiento del centro de gravedad con concentración de peso en la obra viva [11]	22
9. Comportamiento del centro de gravedad con concentración de peso en la obra muerta [11]	22
10. Formas básicas de un casco [1]	24
11. Diferentes tipos de motores eléctricos	26
12. Dimensiones principales de una embarcación [12]	27
13. Representación de la manga entre los centros de los cascos [12]	29
14. Diagrama de cuerpo libre del casco diseñado, por A. Sánchez y L. Suárez	30
15. Productos hechos de EPS [3]	32
16. Boceto preliminar, por A. Sánchez y L. Suárez	33
17. Diagrama de bloque del sistema, por A. Sánchez y L. Suárez	34
18. Vistas del casco diseñado, por A. Sánchez y L. Suárez	35
19. Diagrama C_r según Halvald [18]	40
20. Gráfica velocidad vs fuerza de propulsión, por A. Sánchez y L. Suárez	42
21. Propulsor submarino "16V - 300W con motor sin escobillas" [13]	42
22. Controlador electrónico de velocidad (ESC) para motor sin escobillas [30]	44
23. Transmisor "FlySky FS-i6" [8]	44
24. Receptor "FS-iA6B" [8]	45
25. Sistema embebido "Raspberry Pi 3 Modelo B/B+" [29]	46
26. Módulo de cámara "Raspberry Pi V2" [29]	47
27. Módulo GPS "Adafruit Ultimate (ADA746)" [2]	48
28. Batería de 22,2 V - 5000 mAh [14]	49
29. Regulador reductor de voltaje "DIYMORE 20 A 300 W" [4]	50
30. Power Bank de 5 V - 10400 mAh	51
31. Diagrama de componentes electrónicos y sus conexiones, por A. Sánchez y L. Suárez, Eagle 2022	52
32. Raspberry Pi 3B+ y sus conexiones, por A. Sánchez y L. Suárez, Eagle 2022	52
33. Diagrama de los cables del sistema de propulsión, por A. Sánchez y L. Suárez	53
34. Diseño mecánico del USV, por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks 2022	54
35. Macro componentes pertenecientes al USV, por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks 2022	54
36. Proceso de moldeo de los cascos usando EPS, por A. Sánchez y L. Suárez	55
37. Cortes de varillas para los nervios del casco, por A. Sánchez y L. Suárez	56
38. Proceso de unión de varillas para creación de los nervios estructurales del casco, por A. Sánchez y L. Suárez	56
39. Unión de la estructura interna de los 2 cascos, por A. Sánchez y L. Suárez	57
40. Casco con fibra de vidrio, por A. Sánchez y L. Suárez	58
41. Depósito de recolección, por A. Sánchez y L. Suárez	58
42. Ensamble entre travesaños y casco, por A. Sánchez y L. Suárez	59
43. Ensamblaje entre soportes y caja de componentes, por A. Sánchez y L. Suárez	59
44. Instalación del depósito, por A. Sánchez y L. Suárez	60
45. Ensamble entre propulsores y casco, por A. Sánchez y L. Suárez	60
46. Conexiones de los componentes, por A. Sánchez y L. Suárez	61
47. Distribución de los componentes en la caja electrónica, por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks 2022	61
48. Sistema de propulsión, por A. Sánchez y L. Suárez	62

49. Procedimiento de calibración [30]	63
50. Movimientos que se pueden realizar con las 2 palancas principales, por A. Sánchez y L. Suárez	63
51. Desactivación de los canales auxiliares, por A. Sánchez y L. Suárez	64
52. Configuración de los 3 mix para el movimiento del dispositivo, por A. Sánchez y L. Suárez	64
53. Paso 1 para la configuración de la auto-ejecución de un programa	65
54. Paso 2 para la configuración de la auto-ejecución de un programa	65
55. Paso 3 para la configuración de la auto-ejecución de un programa	66
56. Ubicación del archivo de texto posiciones con fecha y hora	66
57. Entrenamiento del modelo de aprendizaje automático a partir de una base de datos propia	67
58. Formato del modelo entrenado	67
59. Ubicación de las carpetas pan-tilt-hat y vilib	68
60. Prueba del sistema de propulsión	69
61. Prueba de recolección	69
62. Documento donde se registran las coordenadas geográficas en formato decimal	70
63. Coordenadas geográficas sexagesimales (°,’,’’)	70
64. Comando usado para ejecutar los códigos del programa [image_classification.py]	71
65. Funda siendo detectada por el identificador de residuos	71
66. Trayectoria realizada en Google Earth	72
67. Coordenadas geográficas sexagesimales concatenadas en Excel	73
68. Representación de coordenadas geográficas decimales con formato en kml	73
69. Conexión remota entre el Raspberry y la laptop	74
70. Lámina acotada del travesaño en «U» de 470 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks	80
71. Lámina acotada del travesaño en «L» de 500 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks	81
72. Lámina acotada del travesaño en «L» de 180 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks	82
73. Lámina acotada del travesaño en «U» de 180 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks	83
74. Lámina acotada del travesaño en «L» de 250 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks	84
75. Lámina acotada del USV, por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks	85
76. Lámina del plano explosionado del USV con su lista de macro componentes, por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks	86
77. Diagrama de componentes electrónicos y sus conexiones, por A. Sánchez y L. Suárez, Eagle	87
78. Raspberry Pi 3B+ y sus conexiones, por A. Sánchez y L. Suárez, Eagle	88
79. Máquina de soldar Inverter	89
80. Pulidora	90
81. Taladro	91
82. Amoladora	92
83. Código [gps.py] para registrar la trayectoria del dispositivo, por A. Sánchez y L. Suárez, Thonny	93
84. Código [image_classification.py] para detectar desechos flotantes, Thonny [32]	94
85. Código para importar datos de los archivos generados por el sistema de geolocalización, por A. Sánchez y L. Suárez, Microsoft Visual Basic para Aplicaciones	95

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Clasificación de robots de servicio según el tipo de movimiento [15].	16
II.	Clasificación de robots de servicio para aplicaciones profesionales [15].	17
III.	Comparación de un motor sin escobillas con un motor con escobillas [36]	26
IV.	Valores de C_{AA} para diferentes tipos de embarcaciones [18]	31
V.	Datos hidrostáticos generados en el programa Maxsurf	35
VI.	Valores de B_{CB} para distintas relaciones LBRC, por A. Sánchez y L. Suárez	36
VII.	Valores de BM_T y BM_L para distintos B_{CB} , por A. Sánchez y L. Suárez	37
VIII.	Propiedades físicas del agua para una presión atmosférica estándar al nivel del mar [7]	38
IX.	Parámetros del USV y del agua, por A. Sánchez y L. Suárez	38
X.	Valores de F_P del USV, por A. Sánchez y L. Suárez	41
XI.	Características técnicas del propulsor	42
XII.	Características técnicas del ESC	43
XIII.	Características técnicas del transmisor (TX)	44
XIV.	Características técnicas del receptor (RX)	45
XV.	Características técnicas del sistema embebido	46
XVI.	Características técnicas del módulo de cámara	47
XVII.	Características técnicas del GPS	48
XVIII.	Consumo del propulsor	49
XIX.	Características técnicas de la batería de 22,2 V	49
XX.	Características técnicas del regulador reductor	50
XXI.	Consumo de los componentes de la red electrónica, por A. Sánchez y L. Suárez	51
XXII.	Características técnicas de la batería de 5 V	51
XXIII.	Tabla de intensidad máxima que soportan cables eléctricos	53
XXIV.	Propiedades de la fibra de vidrio tipo e	57
XXV.	Masas de los componentes del dispositivo, por A. Sánchez y L. Suárez	62
XXVI.	Cronograma	75
XXVII.	Presupuesto del proyecto	76

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene la finalidad de diseñar e implementar un dispositivo no tripulado, controlado de forma remota, que pueda recolectar residuos en la superficie de cuerpos de aguas lénticas, mientras que también sea capaz de monitorear los desechos recolectados. Para lograr esto, se integrarán dos sistemas: uno de identificación de residuos basado en un modelo de aprendizaje automático y otro de geolocalización.

El dispositivo operará mediante un sistema de propulsión, y ejecutará sus funciones de identificación y geolocalización mediante un sistema de control. Para la propulsión, se utilizarán dos propulsores, junto con sus respectivos elementos para un correcto funcionamiento. Para el control, se usará un sistema embebido.

Adicionalmente, se instalará una cámara para identificar residuos y un módulo GPS para recolectar datos sobre la posición en coordenadas angulares del dispositivo. Para lograr una implementación exitosa de estos elementos, se utilizará el lenguaje de programación Python.

II. PROBLEMA

Los cuerpos de agua dulce como ríos, lagos y arroyos han sido continuamente contaminados por la acumulación de desechos sólidos de origen antropogénico comercial y/o domiciliario. En consecuencia, se han generado graves afectaciones no solo al ser humano sino también al hábitat rico en flora y fauna que se desarrolla en estas aguas y sus proximidades terrestres.

Adicionalmente, datos recopilados de una publicación realizada en Nature Sustainability indica que el 80 % de la basura en el mar a escala de todo el mundo es de plástico, resaltando los plásticos usados para el transporte de alimentos y bebidas, claro indicativo de cómo las actividades humanas, y los hábitos alimentarios, impactan en los océanos. Así mismo, en el caso de los ríos los objetos relacionados con el hogar y la actividad industrial son los que más presencia tienen [24]. Estimaciones presentadas en otro artículo indican que entre 1,15 y 2,41 millones de toneladas de desechos plásticos ingresan al océano cada año desde los ríos, y más del 74 % de las emisiones se producen entre los meses de mayo y octubre [19].

Dentro de estos datos no queda exento el Ecuador, ya que una investigación ha arrojado que la población en el país produce un promedio de 0,54 kg/hab/día de basura que desafortunadamente son depositadas en su totalidad en quebradas, ríos, playas, vías, causando graves afectaciones al medio ambiente y a las comunidades vecinas a los botaderos [23]. En el caso del río Guayas, este constituye la principal fuente de introducción de contaminantes en el Golfo de Guayaquil, llegando a introducir una cantidad equivalente al 75 % de todas las descargas domésticas e industriales que se realizan en el litoral [5].

III. JUSTIFICACIÓN

Debido al problema de contaminación previamente planteado, es sumamente importante realizar la recolección de este tipo de desechos vertidos sobre los cuerpos de agua. Para alcanzar esto, se propone como medio de acción el diseño e implementación de un USV recolector de desechos, lo cual, en cierta medida conllevaría a la reducción de los desechos sólidos flotantes como: botellas plásticas, fundas, contenedores de comida, acumulados sobre la superficie del cuerpo de agua léntica donde opere el dispositivo.

Se implementará este tipo de dispositivo de recolección en cuerpos de agua léntica como lo serían esteros, estanques, pantanos, ciénagas, lagunas, lagos, evitando así posibles daños que puedan generarse por un medio acuático inestable. Además, estos cuerpos de agua presentan un nivel de contaminación preocupante que ha hecho que se empleen laborales por parte de los gobiernos locales, los cuales buscan frenar esta problemática, sin embargo, los medios de recolección que se utilizan son obsoletos, ya que estas operaciones se realizan mediante el empleo de pequeñas embarcaciones como canoas, balsas, las cuales deben exclusivamente ser operadas por un tripulante.

Adicionalmente, a pesar de que este tipo de embarcaciones cuentan con una capacidad de recolección mayor a la que podría tener el dispositivo a elaborar, no presentan un sistema que determine la posición exacta en donde se está realizando la recolección, y en general, la propulsión de estas embarcaciones se basa en el uso de motores de gasolina, lo cual genera un grado de contaminación.

IV. OBJETIVOS

IV-A. *Objetivo General*

Desarrollar un USV para la recolección de desechos en la superficie de aguas lénticas, controlado de manera remota utilizando radio frecuencia, en un radio de 20 metros.

IV-B. *Objetivos Específicos*

- Diseñar una estructura que proporcione una flotabilidad, estabilidad y hermetismo sobre superficies de aguas lénticas, usando el programa de modelado 3D SolidWorks.
- Implementar un sistema que identifique los residuos flotantes por medio de un modelo de aprendizaje automático.
- Implementar un sistema que registre el recorrido del USV.
- Realizar pruebas en aguas lénticas que valide el funcionamiento del USV.

V. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

V-A. Robótica de servicio

Según la norma ISO 8873:2021, un robot de servicio no es más que un robot de uso personal o profesional, el cual, realiza tareas útiles para humanos o equipos. Partiendo de este concepto, un robot de servicio de uso personal incluye tareas no comerciales como el manejo o la entrega de artículos, el transporte, el apoyo físico, orientación o información, cocina y la manipulación de alimentos, y la limpieza. En cambio, un robot de servicio de uso profesional incluye tareas comerciales de inspección, vigilancia, manipulación de artículos, transporte de personas, orientación o información, cocina y manipulación de alimentos, y limpieza [16].

Para la edición 2021 del “World Robotics Service Robots”, la IFR (Federación Internacional de Robótica) desarrollo un nuevo esquema para la clasificación de los robots de servicio, el cual, distingue este tipo de robots en dos dimensiones: la aplicación del robot, que se puede apreciar en la tabla [1], y el tipo de movimiento, que se puede apreciar en la tabla [15].

Tabla I
CLASIFICACIÓN DE ROBOTS DE SERVICIO SEGÚN EL TIPO DE MOVIMIENTO [15].

Type		Description
A	Ground-based	Robots that move or stand on the ground
A1	Rolling	Rolling on wheels or chains
A2	Walking	Walking on legs
A3	Fixed in place	Immobile, cannot change physical location by itself, standing on the ground, desk or other fixed place, also hanging
A4	Other ground-based	Ground-based but none of the above (A1-A3), e.g. crawling, snakeing, climbing
B	Water-based	Robots that swim or dive (autonomous)
B1	Swimming	Swim on the surface of the water, Note: If the robot can both swim and dive, it is counted as diving (B2)
B2	Diving	Dive under the surface of the water
C	Aerial	Robots that move through the air
C1	Fly	Flying in the air
C2	Hover	Hover above ground
D	Wearables	Robots that are worn by people
D1	Exoskeletons	Powered human exoskeletons
D2	Other wearables	Wearable robots other than D1
E	Others	Robots that are not A-D
E1	Other robots	Robots that do not fit into classes A-D, e.g. robots for orbital space Robots that fit into multiple classes, e.g. hybrid robots for water and ground or air

Esta distinción en dos dimensiones permite una mejor comprensión de las capacidades y funcionalidades de los robots de servicio en diferentes sectores y aplicaciones. Además, esta nueva clasificación también facilita la comparación entre los distintos tipos de robots de servicio disponibles en el mercado y ayuda a los consumidores a elegir el robot que mejor se adapte a sus necesidades específicas. En general, esta iniciativa de la IFR representa un paso importante en el desarrollo y la estandarización de los robots de servicio a nivel internacional [15].

Tabla II
CLASIFICACIÓN DE ROBOTS DE SERVICIO PARA APLICACIONES PROFESIONALES [15].

Application		Description
AP	Professional service robots	Robots intended for use by trained professionals.
AP1	Agriculture	Robots for agricultural and farming applications
AP11	Cultivation	Plowing, seeding, harvesting, weeding, fertilizing, pesticide spraying of/for crop plants and fruit indoors (greenhouse) and outdoors (field, vineyard)
AP12	Milking	Milking
AP13	Other livestock farming	Livestock farming, except milking, e.g. feeding, barn cleaning
AP19	Other agriculture	Agriculture, but none of the above
AP2	Professional cleaning	Robots for professional cleaning applications
AP21	Floor cleaning	Cleaning of horizontal areas, e.g. floors in offices, hotels, public buildings, streets and sidewalks. Note: Robots for barn cleaning are included in class AP13
AP22	Window and wall cleaning	Cleaning of windows, walls and other vertical areas
AP23	Tank, tube and pipe cleaning	Inside cleaning of tanks, tubes or pipes
AP24	Hull cleaning	Outside cleaning of hulls (aircraft, train, other vehicles, tank, container)
AP25	Disinfection	UV, spray, wiping or other disinfection methods
AP29	Other professional cleaning	Professional cleaning other than above
AP3	Inspection and maintenance	Robots for inspection and maintenance
AP31	Buildings and other construction	Outside detection of damage in buildings, plants, bridges, tunnels and other civil construction
AP32	Tank, tubes, pipes, sewers	Inside detection of leakage in tanks, pipes, or sewers
AP39	Other inspection and maintenance	Inspection and maintenance, but none of the above
AP4	Construction and demolition	Robots for construction and demolition
AP41	Construction	Installation of buildings and other constructions, earthwork
AP42	Demolition	Tear-off of buildings and other constructions

V-B. Vehículos no tripulados

Los vehículos no tripulados son, como su nombre lo indica, vehículos que llevan a cabo sus misiones sin que nadie los conduzca, moviéndose por su cuenta a partir de una serie de instrucciones. Estos vehículos no tripulados han sido usados desde hace muchos años, destacando su uso en el campo militar, citando ejemplos como: torpedos, satélites, misiles, embarcaciones y vehículos con cargas explosivas, desactivadores de explosivos, medidores de radioactividad, robots, etc.

Los vehículos no tripulados se clasifican en cuatro grandes grupos según el ambiente en el que operan: aéreo “UAV” (vehículos aéreos no tripulados), terrestre “UGV” (vehículos terrestres no tripulados), y en ambientes marítimos, de superficie “USV” (vehículo de superficie no tripulado) y submarino “UUV” (vehículos submarinos no tripulados) [6].

V-B1. Vehículos de superficie no tripulados: Los vehículos de superficie no tripulados (USV, por sus siglas en inglés) son un tipo de vehículos no tripulados que anteriormente se utilizaban, en su mayoría, a nivel internacional en el campo de las medidas contra minas. En la actualidad, han generado interés en el campo de la robótica debido a su amplia gama de aplicaciones. Pueden utilizarse en estudios hidrográficos, batimetría, oceanografía, toma de muestras, monitoreo de parámetros acuáticos, etc. Los vehículos de este tipo pueden ser lanzados desde plataformas de superficie, submarinas o aéreas, y se presentan en una variedad de formas físicas, que van desde barcos simples hasta botes, canoas o balsas. La propulsión, dependiendo del uso previsto, es típicamente proporcionada por motores de combustión o eléctricos [6].

Dependiendo de las aplicaciones que se desee desarrollar, los USV pueden tener diversas apariencias y funcionalidades. Para tener un mejor entendimiento de las funciones que desempeña un dispositivo de estas características, se tienen los siguientes elementos básicos, apreciados en la figura 1, que todo USV debe poseer [20]:

- Casco y elementos estructurales auxiliares: Los cascos que un USV puede poseer depende de la aplicación que vaya a desempeñar. En el caso de los catamarán y trimarán, estos son especialmente elegidos por tener una mayor estabilidad de sus sistemas, además de que proporcionan una mayor capacidad de carga útil.

- Sistema de propulsión y potencia: Este sistema corresponde a aquel que brinda al dispositivo control de velocidad y rumbo. Estas propiedades en la mayoría de los USV que existen son proporcionadas por sistemas de propulsión de timón y hélice (o mediante chorros de agua), mientras que otros tipos como el USV de catamarán, son dirigidos por empuje diferencial, proporcionado por dos motores independientes conectados a cada casco.
- Sistemas GNC: Son módulos generalmente constituidos por computadoras y software a bordo, que se encargan de administrar en conjunto todo el dispositivo.
- Sistemas de comunicación: Sistema que incluye la comunicación inalámbrica con las estaciones de control en tierra y otros vehículos para realizar un control cooperativo, comunicación a bordo por cable/inalámbrica con una variedad de sensores, actuadores y otros equipos.
- Equipo de recopilación de datos: Normalmente se usan sensores IMU y GPS, pero también pueden agregarse, cámaras, radares y demás sensores (temperatura, humedad, carga) para monitorear el estado de diferentes sistemas del USV o del entorno.
- Estación terrestre: Punto que puede ubicarse en una instalación en tierra, un vehículo de similares características o un barco en alta mar.

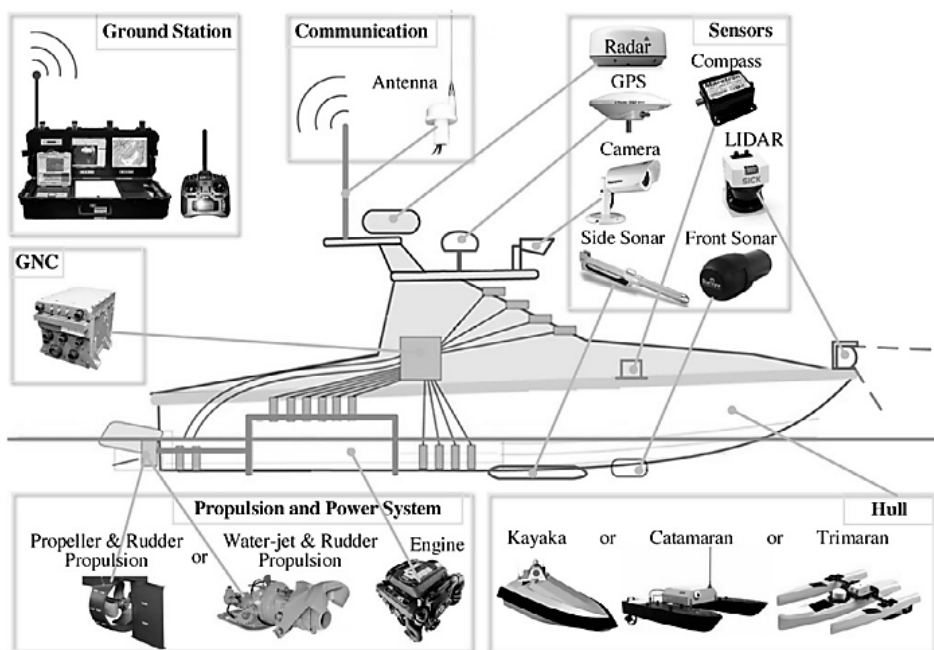


Figura 1. Arquitectura de un USV típico [20]

Entre los USV que se han desarrollado se encuentra el ESM30 “Autonomous Water Sampling & Monitoring Vessel”, veáse la figura 2, que es un vehículo de superficie no tripulado (USV) desarrollado por OceanAlpha. El ESM30 está diseñado para cumplir con el propósito de dar una respuesta rápida a los accidentes relacionados a la contaminación del agua en entornos complicados, tanto para tomar muestras como para obtener datos en línea. Este USV puede recoger 4 botellas de muestras de agua de 1,8 L de diferentes zonas a 0,5 m bajo la superficie del agua. Además, cuenta con sensores de ultrasonido, para detectar obstáculos hasta 10 metros por delante y evitar colisiones.



Figura 2. Vehículo de superficie no tripulado ESM30 [9]

Otro USV con el que cuenta la empresa de OceanAlpha es el SL40, veáse la figura 3, el cual es un USV que funciona mediante propulsión por chorro de agua y tiene el propósito de realizar estudios hidrográficos y batimétricos. La innovadora hélice de chorro de agua permite al USV navegar a 5 m/s y evitar eficazmente que se enrede en las plantas acuáticas o la basura. El USV cuenta con un sistema de evitación de obstáculos y RTK, y puede controlarse mediante una estación base o un mando a distancia.



Figura 3. Vehículo de superficie no tripulado SAL40 [9]

Entre otras muchas aportaciones, el INESC TEC contribuyó con el desarrollo de un USV llamado “UCAP”, veáse la figura 4, el cual cumple con la función de rescatar personas en el mar. Este vehículo es capaz de navegar en el mar y de llevar una balsa salvavidas. El casco del vehículo tiene 1,5 m de longitud y pesa aproximadamente 25 kg sin carga útil. La carrocería se ha diseñado de forma que represente un riesgo mínimo para las posibles víctimas en el mar. A nivel de guiado, el UCAP es capaz de realizar maniobras de seguimiento de líneas definidas por “waypoints” consecutivos. Las comunicaciones con una estación de control están aseguradas por un enlace Wi-Fi de largo alcance que establece un enlace de banda ancha a distancias superiores a 1 km (dependiendo de la altura de la antena de la estación costera sobre la superficie del agua y de las condiciones del oleaje) [22].



Figura 4. Vehículo de superficie no tripulado UCAP [22]

V-C. Recolección de desechos marítimos

La preocupante cifra de desechos que se acumulan en los océanos, en los llamados cinco parches de basura oceánica, ha hecho que en los últimos años evolucione el sector orientado a la recolección de estos. Con respecto a esta información, se destaca el aporte de la empresa “The Ocean Cleanup”, la cual ha implementado sistemas, instalaciones y prototipos que recolectan a gran escala estos desechos, limpiando ríos, mares y océanos. Un ejemplo de estos sistemas puede apreciarse en la figura 5.



Figura 5. Dispositivo de limpieza The Interceptor 004 junto a Boyan Slat [33]

También existen robots que recolectan a menor escala como es el “Wasteshark”, veáse la figura 6, desarrollado por la empresa Ranmarine. Este USV está diseñado para eliminar la contaminación flotante, como plásticos, algas y biomasa de lagos, estanques, vías fluviales y puertos.



Figura 6. Vehículo de superficie no tripulado Wasteshark [28]

V-D. Parámetros de diseño mecánico

V-D1. Flotación: La fuerza de flotación es la fuerza vertical neta, que surge por acción de el o los fluidos que se encuentran en contacto con un cuerpo, es decir que el cuerpo que flota solo está en contacto con fluidos, siempre y cuando la fuerza superficial que aparece a causa de los fluidos mantenga un equilibrio con la fuerza de la gravedad, la cual también incide sobre el cuerpo [10].

Referente al concepto de flotación un matemático, el griego Arquímedes de Siracusa, enunció lo siguiente [10]:
 “La fuerza que ejerce un fluido sobre un cuerpo sumergido en su seno es igual al peso del volumen de agua que éste desaloja y se manifiesta de manera ascendente”

Esta fuerza que se hace alusión se la conoce como fuerza de empuje o flotación. El siguiente es el modelo matemático que describe el principio antes mencionado:

$$E = W_{fluido} \quad (1)$$

Una vez esta ecuación es desarrollada a partir de la ecuación general de la hidrostática, queda la expresión:

$$F_B = \gamma_f * V_S \quad (2)$$

Donde F_B es la fuerza de empuje que se ejerce sobre un cuerpo de volumen V_S que se ubica en el seno de un líquido de peso específico γ_f [10].

V-D2. *Estabilidad:* Conocer la estabilidad de cuerpos flotantes y sumergidos es sumamente importante, debido a que es un factor clave para el diseño de barcos, submarinos, dirigibles, entre otros. La estabilidad es estudiada a partir de los de lo que se conoce como los tres tipos de equilibrio: estable, naturalmente estable e inestable.

Un cuerpo capaz de flotar presenta estabilidad vertical, debido a que cualquier desplazamiento que presente, pudiendo ser este hacia arriba o abajo, generará una fuerza, la cual hará lo posible por llevar al cuerpo a una posición en que su peso y la fuerza ascensional perteneciente al fluido lleguen a un punto de equilibrio, todo esto luego de pequeñas oscilaciones realizadas por el cuerpo sobre el fluido viscoso.

La estabilidad de cuerpos flotantes aborda el concepto de la altura metacéntrica “GM”, la cual es la distancia que hay entre G (centro de gravedad) y M (metacentro), siendo este último, el punto de intersección de las líneas de acción de la fuerza de empuje antes y después de la rotación. Cuerpos flotantes como embarcaciones son diseñados de modo en que la ubicación de M sea aproximadamente constante cuando existen ángulos pequeños de rotación.

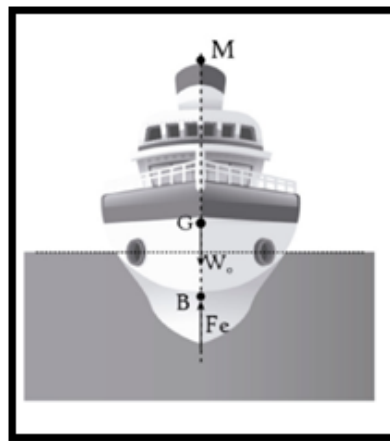


Figura 7. Embarcación en equilibrio estable [25].

Un cuerpo flota presenta equilibrio estable, como se puede apreciar en la figura 7, si M está por encima de G, por lo que GM se considera positiva. En cambio, si M está por debajo de G, GM se considera negativa, debido a esto, tanto la fuerza de empuje como el peso que actúan sobre el cuerpo inclinado generan un momento de volcadura y no uno que permita la restitución del cuerpo. [25].

Por último, es de suma relevancia que en una embarcación se encuentren bien distribuidos los pesos que esta conforma, ya que es un factor clave para la ubicación exacta del centro de gravedad y del metacentro. Estos pesos como recomendación deben concentrarse de tal manera que en la obra viva se encuentre un mayor peso que en la obra muerta, esto con la finalidad de que exista mayor posibilidad de que el centro de gravedad se ubique lo más distante posible del metacentro, tal y como se puede apreciar en la figura 8.

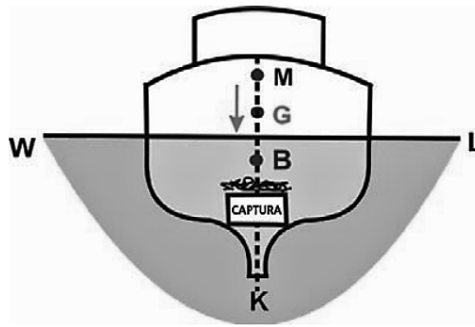


Figura 8. Comportamiento del centro de gravedad con concentración de peso en la obra viva [11]

En la figura presentada se puede apreciar como a medida que se coloca el peso en la obra viva, el centro de gravedad tiende a desplazarse hacia abajo generando una mayor estabilidad al aumentar la distancia entre G y M. En contraste a esto, como se muestra en la figura 9, si el peso se distribuye en la obra muerta, el centro de gravedad tiende a desplazarse hacia arriba generando inestabilidad al disminuir la distancia entre G y M.

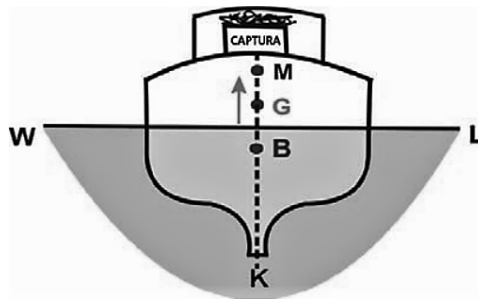


Figura 9. Comportamiento del centro de gravedad con concentración de peso en la obra muerta [11]

V-D3. *Estanqueidad*: La estanqueidad es una propiedad que se refiere a la capacidad para prevenir que partículas externas, ya sea agua, aire, polvo, entre otras, ingresen hacia el interior de una pieza, circuito o compartimiento [31].

A día de hoy, la evolución de la electrónica y del modelismo naval ha permitido que sea más sencillo poder adquirir motores eléctricos sin escobillas resistentes al medio acuático. Aun así, la mayoría de los componentes electrónicos no tienen esta propiedad, por lo que el diseño de compartimentos estancos son un requerimiento primordial para tomar en consideración.

Actualmente, para saber el grado de protección con el que cuenta un componente, ya sea eléctrico o electrónico, existen dos estándares: IP (Ingress Protection) y NEMA (National Electrical Manufacturers Association). Ambos estándares indican los grados de protección en sustancias líquidas, como el agua, o sólidas como el polvo [26].

V-E. Tipos de embarcaciones

Tomando en consideración el propósito que se tiene con el proyecto es sumamente importante reconocer los diferentes tipos de embarcaciones, los cascos que estos integran, así como las partes básicas que estas poseen, ya que esto ayuda para el estudio y posterior elaboración del dispositivo.

De acuerdo con el diseño y su estructura, las embarcaciones están destinadas a cumplir funciones concretas que las diferencian de otras. De esta forma los barcos pueden clasificarse según el objetivo a llevar a cabo, como: transporte de personas, deportivo, mercantil, etc. A continuación, se mencionan algunos tipos de embarcaciones [21]:

- Embarcación de recreo: Este tipo de embarcaciones, como su propio nombre lo indica, se utilizan para realizar actividades recreativas, de ocio y disfrute de los usuarios. En esta sección se encuentran los yates, los veleros, motos de agua y botes, que pueden ser usados para actividades deportivas.

- Embarcación de transporte de personas: Este tipo de embarcaciones se encargan de la labor de trasladar a personas de un lugar a otro. Los barcos usados para esto pueden ser: cruceros, ferry, trasatlánticos y balsas. De entre los que se ha nombrado, los cruceros, figura x, son aquellos con mayor demanda en la actualidad, ya que brinda a quienes requieren viajar a diferentes países, de comodidades y actividades recreativas que generan agradables experiencias.
- Embarcación de mercantil: Ese tipo de embarcaciones son aquellas que se destinan especialmente a las actividades de índole comercial. Por lo general para este tipo de propósito se usan buques, los cuales pueden ser petroleros, químicos, frigoríficos o de carga.
- Embarcación de guerra: Los propósitos que tienen este tipo de embarcaciones son de índole militar, pudiendo usarse como instrumentos para contiendas entre países, también pueden realizar funciones de vigilancia, defensa o detección de amenazas en el medio acuático. Este tipo de barcos se pueden clasificar en portaaviones, acorazados, fragatas, corbetas o dragaminas.
- Otro tipo de embarcaciones: Existen otro tipo de embarcaciones especiales que tienen diferentes funciones o propósitos que desempeñar. Este tipo de embarcaciones pueden ser remolcadores, lanchas o buques de salvamento, barcos meteorológicos, lanchas de limpieza, etc.

V-F. Partes de una embarcación

Un barco es en sí un cuerpo flotante que puede ser dirigido, trasladándose a un sitio con una finalidad específica. Para poder realizar este movimiento cuenta con un medio de propulsión. Además, se caracteriza por poseer una forma alargada y cóncava, y por disponer de extremidades estrechas en relación con su centro.

Las siguientes son algunas de las partes principales que un barco posee [27]:

- Eslora: Es la longitud total de la embarcación.
- Eslora de flotación: Es la longitud del plano de flotación medida, y es distinta para cada superficie de flotación.
- Manga: Es el ancho del casco. Al ser este, un parámetro no constante a lo largo de todo el casco de una embarcación, se le da el nombre de manga máxima a la parte más ancha.
- Calado: Es la altura de la parte sumergida del casco.
- Popa: Es la parte posterior del barco. Se considera como el final de la estructura donde se encuentra instalado las hélices, el timón, etc.
- Proa: Es la parte delantera de un barco, que en relación con la popa es más estrecha y acuñada. Tiene como propósito cortar las aguas y el oleaje con la finalidad de facilitar la navegación de la embarcación.
- Babor: Es el nombre que recibe la parte izquierda de una embarcación, mirando desde la popa hacia la proa.
- Estribor: Es el nombre que recibe la parte derecha de una embarcación.
- Obra viva: Es la parte sumergida del casco. Habitualmente es pintada con pintura antiadherente para evitar incrustaciones de algas o moluscos.
- Obra Muerta: Es la parte no sumergida del casco, es decir, que se encuentra sobre la línea de flotación hasta la superestructura.
- Línea de flotación: Es la línea que forma la intersección del agua con el casco, es decir, que separa la obra viva de la muerta. Esta raya imaginaria es arbitraria, debido a que cambia según el estado de carga de la embarcación.

V-G. Tipos de cascos

Las diferentes formas que puede tomar el casco determinan el comportamiento de una embarcación. El casco es lo que mantiene a flote a una embarcación, siendo este el que le da, estabilidad, maniobrabilidad, navegación, le permite planear y alcanzar velocidades de forma segura.

La forma del casco dependerá del diseño y la aplicación para la que se use. Las formas que puede tomar un casco serán agrupadas en cuatro básicas dentro de las cuales se puede encontrar una gran variedad de diseños. Las 4 formas básicas son las siguientes [1]:

- Casco plano: Son cascos que apenas tienen calado lo cual favorece a la navegación en aguas como ríos, lagos o pantanos. Este tipo de casco favorece la estabilidad y facilidad en el planeo, siempre y cuando el agua esté

tranquila, si no ocurre esto, son difíciles de maniobrar y con condiciones adversas en un entorno acuático con fuertes vientos y aguas agitadas serán menos estables.

- Casco redondo: También llamados barcos de desplazamiento navegan desplazando el agua a su alrededor. Su navegación es suave y lenta, además de que necesitan muy poca potencia para su movimiento. Este tipo de embarcación suele ser estable, aunque tiende a balancearse de manera pronunciada, es por ello por lo que suelen ser equipados con estabilizadores, quillas o con una orza que le otorga una mayor estabilidad y seguridad en casi cualquier condición de navegación.

Algunos ejemplos de embarcaciones con este tipo de casco son: arrastreros, remolcadores, canoas, barcos de pesca, barcos de canal, veleros, etc.

- Casco en V: El casco en V es el más usado entre las embarcaciones de recreo. Dentro de este tipo se encuentra aquellos de v profunda que tiene la particularidad de romper las olas y proporcionar una navegación más suave en aguas agitadas. Es capaz alcanzar altas velocidades, pero no es recomendable moverse sobre la cubierta cuando este se encuentre navegando ya que esto afectara a su estabilidad.
- Multicasco: Se le llama multicasco porque la embarcación integra en su estructura final varios cascos, pudiendo ser catamaranes, trimaranes, pontones y ciertas casas flotantes. Tomando el caso de un catamarán, tener dos cascos les da una gran estabilidad y mucho más espacio para la vida a bordo y almacenamiento en comparación con otras embarcaciones. Este tipo de embarcaciones con varios cascos son muy estables en el agua lo que reduce el mareo en sus tripulantes.

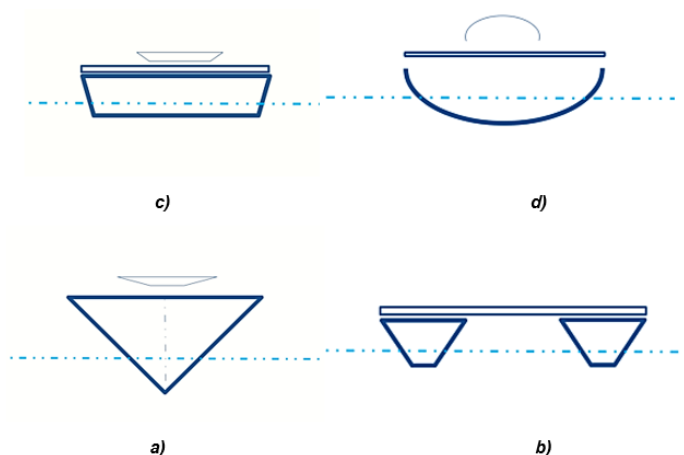


Figura 10. Formas básicas de un casco [1]

En la figura 10, se muestran los tipos de cascos descritos siendo el literal a) casco plano, b) casco redondo, c) casco en “v” y d) multicasco.

V-H. Procesamiento y control

V-H1. *Raspberry Pi*: La Raspberry Pi se puede considerar como una computadora de muy bajo costo y con un tamaño compacto, que notablemente no se puede comparar con computadoras de hoy en día, sin embargo, este pequeño computador al contar con el sistema operativo “Linux” es capaz de permitir a las personas aprender a programar lenguajes como Python y Scratch. Además, cuenta con una interfaz en donde pueden realizarse las tareas típicas de un computador de escritorio, desde reproducir videos, manipular documentos, navegar por la red e inclusive jugar videojuegos.

V-H2. *Radio control*: El control por radio (RC) es una técnica que permite controlar de forma remota un dispositivo, esto mediante el uso de señales transmitidas por ondas radio (ondas electromagnéticas). Las aplicaciones referentes al radio control de un dispositivo son muchas, por ejemplo, para controlar modelos de vehículos desde un transmisor de radio portátil, en la industria, en el ámbito militar y de investigación científica. De entre todas

estas aplicaciones una que se ha destacado en los últimos años es la del control de vehículos no tripulados, tanto para uso civil (drones) como militar, siendo los militares en donde se integran sistema más sofisticados de control.

V-H3. Controlador electrónico de velocidad: También llamado vareador de velocidad es un controlador compuesto por un circuito con varios componentes. El propósito del ESC es variar la velocidad de un motor eléctrico junto con el sentido de giro. Independiente del tipo de motor eléctrico al que se conecte el ESC interpreta información de control. En la actualidad los ESC varían el ratio de cambio de una red de transistores de efecto de cambio (FET). La variación en los cambios de estos transistores causa un sonido característico en los motores eléctricos. Además, este grupo de transistores hace posible un control más preciso y suave de la velocidad de giro de los motores.

V-I. Sensores

V-II. Módulo de cámara: El módulo de cámara, también conocido como CCM (módulo de cámara compacto), ha sido ampliamente utilizado en sistemas de seguridad, monitoreo en tiempo real y videoconferencias como dispositivo de entrada de video. Los módulos de cámara ofrecen software, controladores y herramientas para una rápida conectividad a un sistema.

V-I2. Sistema de posicionamiento global: El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema de navegación que utiliza satélites, un receptor y algoritmos para sincronizar datos de localización, velocidad y hora para viajes aéreos, marítimos y terrestres. Funciona a través de una técnica llamada trilateración, que es usada para calcular la ubicación, la velocidad y la elevación. La trilateración recopila señales de los satélites para enviar información de ubicación. A menudo es confundida con la triangulación, que se utiliza para medir ángulos, no distancias. El GPS está formado por tres segmentos, que trabajan conjuntamente para suministrar información de ubicación. Los tres segmentos del GPS son: espacial(satélites), control terrestre y equipo de usuario.

V-J. Alimentación

V-J1. Baterías de Li-Po: Las baterías Li-Po (Litio-Polímero) son baterías recargables, en ocasiones compuestas por múltiples celdas que se utilizan en aplicaciones que requieren corrientes superiores a 1A con bajo peso y tamaño reducido, por ejemplo, sistemas de radiocontrol, como aviones, helicópteros, drones, teléfonos móviles, entre otros. La capacidad de las baterías indica cuánta corriente puede suministrar esta, y se mide en miliamperios por hora (mAh), que es una forma de indicar la cantidad de carga que la batería puede suministrar durante 1 hora antes de que se descargue en su totalidad.

V-J2. Regulador de voltaje DC-DC: Los reguladores de voltaje son circuitos que tienen la capacidad de llevar un nivel de voltaje de entrada a otro nivel de voltaje mayor o menor en la salida. En este sentido existen dos tipos de reguladores: regulador reductor y regulador elevador. El regulador reductor se usa para reducir un voltaje de entrada a uno de salida con menor nivel. El regulador elevador se usa para aumentar un voltaje de entrada a uno de salida con mayor nivel.

V-K. Propulsión

V-K1. Propulsores: Los propulsores marinos o submarinos son dispositivos que convierten el movimiento de rotación en empuje para mover el objeto al que están unidos. este dispositivo incorpora una hélice conectada a un motor, que por las condiciones del medio acuática en donde va a funcionar, es sin escobilla. Estos dispositivos se utilizan comúnmente para la propulsión de AUV (vehículos submarinos autónomos), ROV (vehículos operados a distancia) y otros UUV (vehículos submarinos no tripulados).

Para la operación en entornos acuáticos existen varios tipos de motores que pueden ser utilizados, algunos de estos son:

- Motor eléctrico
- Motor de combustión interna
- Motor híbrido

De entre todos los motores eléctricos que existen, el motor sin escobillas de corriente continua (BLDC, por sus siglas en inglés) presentado en el diagrama de la figura 11, ha destacado y en la actualidad sigue destacando por sobre los demás tipos de motores.

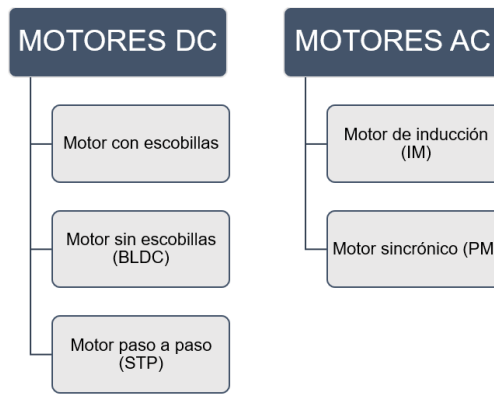


Figura 11. Diferentes tipos de motores eléctricos

Entre las propiedades que hacen destacar a los motores BLDC se encuentran su alta eficiencia, alto torque, larga vida útil y bajo mantenimiento. Estas características los hacen ideales para su uso en una amplia variedad de aplicaciones, desde pequeños dispositivos electrónicos hasta grandes maquinarias industriales.

Además, los motores BLDC son muy versátiles en términos de su capacidad para funcionar a diferentes velocidades y cargas, lo que los hace muy adecuados para su uso en aplicaciones que requieren una precisión y control de velocidad muy alto, como en la robótica, el control de movimiento, la automatización industrial y los sistemas de propulsión de vehículos eléctricos.

Tabla III
COMPARACIÓN DE UN MOTOR SIN ESCOBILLAS CON UN MOTOR CON ESCOBILLAS [36]

Feature	BLDC Motor	Brushed DC Motor
Commutation	Electronic commutation based on Hall position sensors.	Brushed commutation.
Maintenance	Less required due to absence of brushes.	Periodic maintenance is required.
Life	Longer.	Shorter.
Speed/Torque Characteristics	Flat – Enables operation at all speeds with rated load.	Moderately flat – At higher speeds, brush friction increases, thus reducing useful torque.
Efficiency	High – No voltage drop across brushes.	Moderate.
Output Power/Frame Size	High – Reduced size due to superior thermal characteristics. Because BLDC has the windings on the stator, which is connected to the case, the heat dissipation is better.	Moderate/Low – The heat produced by the armature is dissipated in the air gap, thus increasing the temperature in the air gap and limiting specs on the output power/frame size.
Rotor Inertia	Low, because it has permanent magnets on the rotor. This improves the dynamic response.	Higher rotor inertia which limits the dynamic characteristics.
Speed Range	Higher – No mechanical limitation imposed by brushes/commutator.	Lower – Mechanical limitations by the brushes.
Electric Noise Generation	Low.	Arcs in the brushes will generate noise causing EMI in the equipment nearby.
Cost of Building	Higher – Since it has permanent magnets, building costs are higher.	Low.
Control	Complex and expensive.	Simple and inexpensive.
Control Requirements	A controller is always required to keep the motor running. The same controller can be used for variable speed control.	No controller is required for fixed speed; a controller is required only if variable speed is desired.

En la tabla III se puede apreciar varias características que destacan en un motor BLDC en contraste a un motor DC con escobillas, siendo algunas de estas la eficiencia, el rango de velocidad y el mantenimiento.

V-L. Lenguaje de programación

V-L1. *Python*: Python es un lenguaje de programación multipropósito utilizado, muchas veces, en aplicaciones web, desarrollo de software, ciencia de datos y aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés). Este lenguaje atrae a desarrolladores que eligen utilizarlo porque es sencillo de aprender, además es multiplataforma ya que puede ejecutarse desde diferentes sistemas operativos sin ningún problema.

V-M. Aprendizaje automático

El aprendizaje automático es un subconjunto de la inteligencia artificial (IA) y puede ser considerado como un enfoque para realizar aplicaciones de la IA. Este subcampo se basa en una serie de técnicas que brindan la capacidad a los sistemas informáticos de predecir, ordenar, clasificar y tomar decisiones, y en general, se refiere al proceso para reconocer patrones o aprender continuamente y realizar predicciones basadas en datos sin la necesidad de tener reglas definidas para ello [34].

Los datos son utilizados para enseñar a modelos y hacer que estos aprendan a extraer conocimientos. Los modelos son adiestrados a partir de algoritmos, los cuales son determinados según el tipo de tarea que se vaya a realizar con el modelo.

V-MI. Modelo de aprendizaje automático: Un modelo de aprendizaje automático es un archivo ya entrenado que tiene el objetivo de reconocer ciertos tipos de patrones. Para conseguir esto, se debe entrenar al modelo a partir de un conjunto de algoritmos, que cuentan con el propósito de averiguar y obtener información de datos, y de una gran cantidad de datos.

Existen varias bibliotecas de aprendizaje automático que brindan las herramientas necesarias para poder construir y ejecutar modelos de aprendizaje automático [34]. Algunas de estas son:

- TensorFlow: Es una de las bibliotecas más utilizada para crear y adiestrar redes neuronales. Construida para el flujo de datos y la programación diferenciable en una amplia gama de tareas.
- Scikit-learn: Es una biblioteca usada para realizar aplicaciones de aprendizaje automático mediante el lenguaje de programación “Python”. Esta se emplea en mayor medida para algoritmos de agrupamiento, regresión y clasificación, considerados como algoritmos de aprendizaje automático clásicos.

Además, existen herramientas que de forma más sencilla brindan la oportunidad de crear modelos de aprendizaje automático, siendo una de estas la llamada “Teachable machine”, desarrollada por Google y que crea los modelos de manera rápida y sencilla, además de que está disponible para todos, debido a que no se requiere tener conocimientos previos sobre aprendizaje automático para poder lograr con éxito el desarrollo de un modelo.

V-N. Cálculos

V-NI. Cálculo del casco: Para el diseño de cascos se debe tomar en cuenta los conceptos básicos referentes a sus dimensiones y las relaciones que existen entre estas. A partir de estos conceptos se podrá realizar diferentes tipos de cálculos que permitirán determinar los parámetros hidrostáticos que poseen el o los cascos de una embarcación.

Las dimensiones principales que posee un casco son las siguientes: la eslora o longitud del casco (L_H), la manga o ancho del casco (B) y el calado o altura sumergida del casco (T_C). Además de estas tres dimensiones principales también están la correspondiente a los planos de agua, en donde encontramos tanto a la eslora o longitud de la línea de flotación (L_{WL}) y a la manga o ancho de la línea de flotación (B_{WL}) [12]. Estas dimensiones pueden apreciarse en la figura [12].

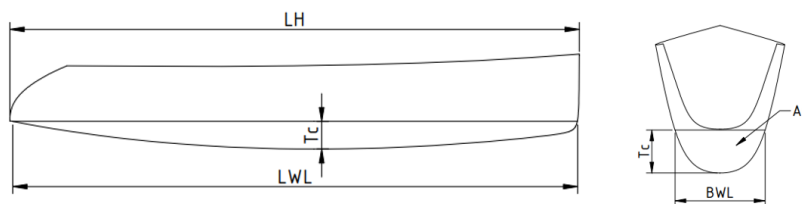


Figura 12. Dimensiones principales de una embarcación [12]

Teniendo en cuenta las dimensiones principales, las relaciones entre estas son las siguientes:

- Relación eslora – manga (LBR): Esta relación tiene un efecto definitivo en la estimación del desplazamiento del barco. Valores bajos de esta relación aumentan la capacidad de carga y valores altos la disminuyen, que es lo mismo que a menor valor de relación, el barco será pesado y a mayor valor, el barco será ligero [12]. La fórmula que describe esta relación es la siguiente :

$$LBR = \frac{L_{WL}}{B_{WL}} \quad (3)$$

- Relación manga – calado (BTR): Esta relación tiene un efecto en la resistencia del barco, así como en la estimación del desplazamiento. Un valor cercano a 2 minimiza la resistencia a la fricción y los valores ligeramente inferiores minimizan la formación de olas. Los valores razonables para esta relación son de entre 1,5 a 2,8. Los valores más altos aumentan la capacidad de carga [12]. La fórmula que describe esta relación es la siguiente:

$$BTR = \frac{B_{WL}}{T_C} \quad (4)$$

Teniendo en cuenta las dimensiones principales, las relaciones entre estas y nuevos parámetros como el área media (A_m), área del plano del agua (A_w) y el volumen de desplazamiento del casco (Δ), se podrán estimar los coeficientes del barco de la siguiente manera:

- Coeficiente medio (C_m): Es la relación entre el área de sección máxima del casco con la manga de la línea de flotación y el calado. Los valores de este coeficiente van a depender de la forma de la sección media del casco de la embarcación [12]. La fórmula que describe el coeficiente es la siguiente:

$$C_m = \frac{A_m}{T_C * B_{WL}} \quad (5)$$

- Coeficiente prismático (C_p): El coeficiente prismático influye en la resistencia del barco y es la relación entre el volumen de desplazamiento del barco con el área de sección máxima del casco y la eslora de la línea de flotación. Este coeficiente suele estar entre 0,55 y 0,64. Los valores más bajos (<0,57) se optimizan para velocidades de desplazamiento y los valores más altos (>0,60) para velocidades superiores a la velocidad del casco [12]. La fórmula que describe el coeficiente es la siguiente:

$$C_p = \frac{\Delta}{A_m * L_{WL}} \quad (6)$$

- Coeficiente de plano de agua (C_w): Es la relación entre el área del plano de agua con la manga de la línea de flotación y la eslora de la línea de flotación. El valor de este coeficiente suele estar entre 0,69 y 0,72 [12]. La fórmula que describe el coeficiente es la siguiente:

$$C_w = \frac{A_w}{B_{WL} * L_{WL}} \quad (7)$$

- Coeficiente de bloque (C_B): Es la relación entre el volumen de desplazamiento del barco con la manga de la línea de flotación, la eslora de la línea de flotación y el calado [12]. La fórmula que describe el coeficiente es la siguiente:

$$C_B = \frac{\Delta}{B_{WL} * L_{WL} * T_C} \quad (8)$$

V-N2. *Cálculo de la carga máxima:* La carga máxima o completa se define como el desplazamiento de una embarcación cuando flota en su calado máximo [12]. Esta carga se puede expresar por medio de la siguiente fórmula:

$$m_{LDC} = B_{WL} * L_{WL} * T_C * C_p * C_m * \rho \quad (9)$$

Donde:

ρ =densidad del agua

En esta fórmula se integran los diferentes parámetros hidrostáticos que todo barco posee.

V-N3. *Cálculo de la manga entre los centros de los cascos:* La manga entre los centros de los cascos (B_{CB}) es la separación que hay entre los cascos, tal y como se muestra en la figura 13, y relaciona la eslora total (L_H) con la relación eslora – manga (LBRC) [12]. La fórmula que se usa para determinar la manga entre los centros de los cascos es la siguiente:

$$LBRC = \frac{L_H}{B_{CB}} \quad (10)$$

Despejando B_{CB} se tiene:

$$B_{CB} = \frac{L_H}{LBRC} \quad (11)$$

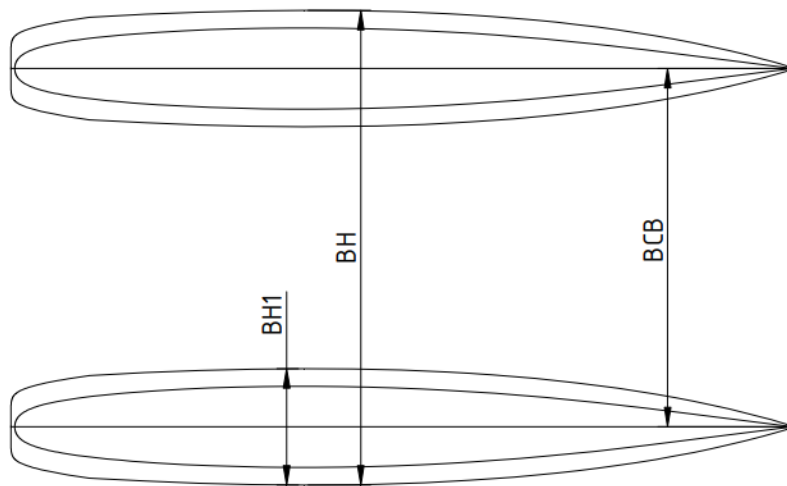


Figura 13. Representación de la manga entre los centros de los cascos [12]

El valor ideal en la relación eslora – manga ($LBRC$) es 2,2, debido a que con esta cantidad, la estabilidad longitudinal y transversal tendrán casi el mismo valor. A menor valor de $LBRC$, mayor será la separación entre los centros de los cascos (B_{CB}). Por otro lado, mientras mayor sea la separación la embarcación será más pesada, y mientras menor sea la separación la embarcación será más ligera [12].

V-N4. *Cálculo de la estabilidad:* En esta sección se presentan los cálculos para determinar la altura transversal desde el centro de flotación hasta el metacentro (BM_T) y la altura longitudinal desde el centro de flotación hasta el metacentro (BM_L) [12].

$$BM_T = 2 * \left[\frac{(B_{WL})^3 * L_{WL} * (C_w)^2}{12} + L_{WL} * B_{WL} * C_w * (0,5 * B_{CB})^2 \right] * \frac{1000}{m_{LDC}} \quad (12)$$

$$BM_L = \frac{(2 * 0,92 * (L_{WL})^3 * B_{WL} * (C_w)^2)}{12} * \frac{1000}{m_{LDC}} \quad (13)$$

V-N5. *Cálculo de la fuerza de propulsión:* En esta sección se presentan los cálculos para determinar la fuerza de propulsión necesaria para que pueda moverse el USV.

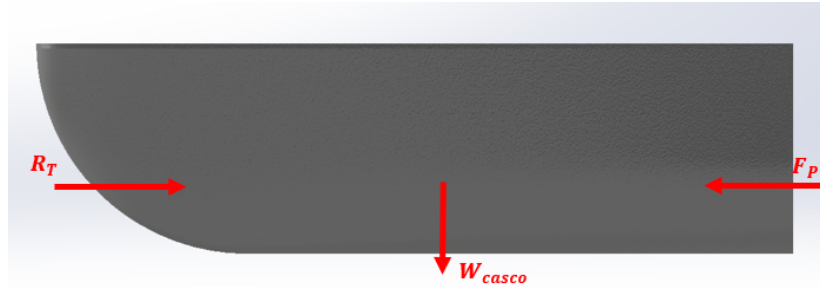


Figura 14. Diagrama de cuerpo libre del casco diseñado, por A. Sánchez y L. Suárez

En el diagrama de cuerpo libre (DCL), de la figura [14], se puede apreciar la fuerza de propulsión (F_P), la resistencia total (R_T) y el peso del casco.

Determinando la $\sum F_X$ se puede calcular la fuerza de propulsión, de la siguiente manera:

$$\sum F_X = -R_T + F_P - (m_{total} * a) \quad (14)$$

$$F_P = R_T + (m_{total} * a) \quad (15)$$

La masa total corresponde a la masa de todo el USV, considerando no solo la masa de los cascos, también la masa de los componentes que integrarán al dispositivo.

De esta fórmula no se conoce la resistencia total, ya que debe calcularse. Para esto se usa como guía el método original ITTC1957 del Comité Internacional de Tanques de Remolque (ITTC). Lo primero que debe realizarse, según la norma ITTC-57, para calcular la resistencia total, es la determinación del coeficiente de resistencia total del casco [18]. Este coeficiente se expresa de la siguiente manera:

$$C_T = C_F + C_A + C_{AA} + C_R \quad (16)$$

Donde:

C_T = Coeficiente de resistencia total

C_F = Coeficiente de resistencia a la fricción

C_A = Coeficiente de resistencia incremental

C_{AA} = Coeficiente de resistencia del aire

C_R = Coeficiente de resistencia residual

Una vez se determina el coeficiente total, se puede calcular la resistencia total utilizando la siguiente fórmula:

$$R_T = \frac{V^2 * S * \rho}{2} * C_T \quad (17)$$

Donde:

R_T = Resistencia total

V = Velocidad de la embarcación

S = Superficie mojada o en contacto con el fluido

ρ = Densidad del agua

C_T = Coeficiente total

Para el cálculo del coeficiente total se necesitan conocer las fórmulas de las variables que la integran.

En primer lugar, se tiene al coeficiente de resistencia a la fricción (C_F) [18], que está definido de la siguiente manera:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log(R_n - 2))^2} \quad (18)$$

Donde R_n es el número de Reynolds y se expresa:

$$R_n = \frac{V * L_{WL}}{\nu} \quad (19)$$

Luego, para el cálculo del coeficiente de resistencia incremental (C_A) [18], se tiene la siguiente expresión:

$$1000 * C_A = \text{Maximun}(-0,1; 0,5 \log \Delta - 0,1(\log(\Delta))^2) \quad (20)$$

De la expresión mostrada el mínimo valor que el coeficiente puede tener es $-0,1 * 10^{-3}$ [18].

Para el cálculo del coeficiente de resistencia del aire (C_{AA}) se toma en cuenta la información presentada en la tabla IV, en donde para pequeños vehículos se recomienda un valor de $0,07 * 10^{-3}$.

Tabla IV
VALORES DE C_{AA} PARA DIFERENTES TIPOS DE EMBARCACIONES [18]

	$C_{AA} \cdot 1000$
Small tankers	0.07
Handysize tankers	0.07
Handymax tankers	0.07
Panamax tankers	0.05
Aframax tankers	0.05
Suezmax tankers	0.05
VLCC	0.04

Por último, para el cálculo del coeficiente de resistencia residual (C_R) [18], se tiene la siguiente expresión:

$$C_R = C_{R,Diagram} + C_{R,B/T \neq 2,5} + C_{R,LCB} + C_{R,form} + C_{R,bulb} \quad (21)$$

Donde:

$C_{R,Diagram} = C_R$ de diagrama

$C_{R,B/T \neq 2,5} = C_R$ de la relación ancho-altura
 $C_{R,LCB} = C_R$ del centro longitudinal de flotabilidad
 $C_{R,form} = C_R$ de forma del casco
 $C_{R,bulb} = C_R$ del bulbo

Para hallar $C_{R,Diagram}$ se necesitan de 3 parámetros que son los siguientes: Relación eslora-desplazamiento, coeficiente prismático (C_P) y número de Froude. De estos parámetros el C_P ya es un valor conocido, por ende, solo se necesita determinar los otros dos [18]. Para ello se toma en cuenta las siguientes fórmulas:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g * L_{WL}}} \quad (22)$$

$$M = \frac{L_{WL}}{\Delta^{1/3}} \quad (23)$$

Donde:

F_n = Número de Froude

M = Relación eslora-desplazamiento

Para hallar $C_{R,B/T \neq 2,5}$, siempre y cuando la relación manga-calado (B/T) no sea igual a 2,5 [18], se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{R,B/T \neq 2,5} = 0,16 * \left(\frac{B_{WL}}{T_c} - 2,5 \right) * 10^{-3} \quad (24)$$

Para hallar el valor de $C_{R,form}$ se lo hace a partir de la forma aproximada de las terminaciones del casco diseñado, sea en “U” o en “V”. Si estas terminaciones son iguales el coeficiente será 0 [18].

Por último, el $C_{R,bulb}$ es 0, debido a que el diseño hecho del casco del dispositivo no presenta bulbo.

V-Ñ. Materiales

V-Ñ1. *Poliestireno expandido*: El poliestireno expandido (EPS) es un material ampliamente usado en muchas aplicaciones como: envasado, embalado, construcción, debido a que cuenta con propiedades donde se destaca una alta capacidad de aislamiento térmico y de protección, además de ser ligero y fácil de conformar. Algunos ejemplos de lo que se puede elaborar con este material se puede apreciar en la figura 15 [3].



Figura 15. Productos hechos de EPS [3]

El uso de este material en las diferentes etapas de fabricación de bienes, entre otras aplicaciones, genera un bajo impacto de carbono por varios motivos, entre ellos:

- Fabricación limpia (insumos mínimos de energía) [3].
- Reduce el desperdicio ocasionado por bienes que se rompen o averían [3].
- Reduce el consumo de combustible para transporte de mercancías, al poseer un peso extremadamente ligero como material de embalaje [3].

V-Ñ2. *Aleación de aluminio:* Las aleaciones de aluminio son materiales de baja densidad que se obtienen al mezclar aluminio con otros elementos, como cobre, plata, zinc, magnesio, entre otros. Estas aleaciones mejoran las propiedades mecánicas del aluminio natural y son importantes a nivel estructural. Tienen características generales como resistencia a la tracción y dureza elevada, son ligeras y resistentes, y existen diferentes tipos de aleaciones con propiedades específicas dependiendo de los elementos presentes en la mezcla y los tratamientos térmicos aplicados.

V-Ñ3. *Hierro negro:* El acero negro es un material con alta resistencia a la tensión y uniformidad en sus propiedades, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones. Es fácil de instalar y flexible, y su resistencia a la corrosión lo hace ideal para estructuras duraderas con bajo mantenimiento. También es utilizado en muebles y elementos decorativos de un hogar, así como en tuberías de acero para servicios de agua, vapor, aire y gas. En general, es un material robusto y duradero con amplias posibilidades de uso.

V-Ñ4. *Fibra de vidrio:* La fibra de vidrio es un material poseedor de buenas propiedades que provoca que sea comúnmente usado en diferentes áreas, donde se destaca su uso recreativo, industrial y aeroespacial, siendo una de estas aplicaciones la fabricación de embarcaciones.

VI. MARCO METODOLÓGICO

VI-A. Diseño del USV

VI-A1. *Diseño preliminar:* Para el USV propuesto se va a hacer un diseño considerando los parámetros de flotabilidad, estabilidad y estanqueidad, y como al ser la recolección de desechos el trabajo que realizará el USV, se decidió que la estructura sea como un catamarán, ya que este tipo de embarcación contiene dos cascos paralelos de la misma medida que distribuye muy bien su peso otorgando así una buena estabilidad, además este diseño es ligero y para el desenvolvimiento del trabajo será más sencillo de operar. El catamarán será como una “U” invertida a la cual se le puede adaptar, en la apertura que hay entre los cascos, un depósito para que recolecte los desechos.

La forma de los cascos que mayor se apegan a los parámetros considerados, son los de forma redonda, sin embargo, al ser un tipo de casco que tiende a balancearse de forma pronunciada se decidió combinar los diseños de cascos redondos y planos para conseguir una mayor estabilidad.

Basándose en los elementos que puede llegar a tener un USV, se tiene el boceto presentado en la figura 16. En este boceto se incluyen elementos tales que:

- Cascos
- Estructuras de soporte
- Sensores
- Actuadores o sistemas de propulsión
- Sistemas de alimentación

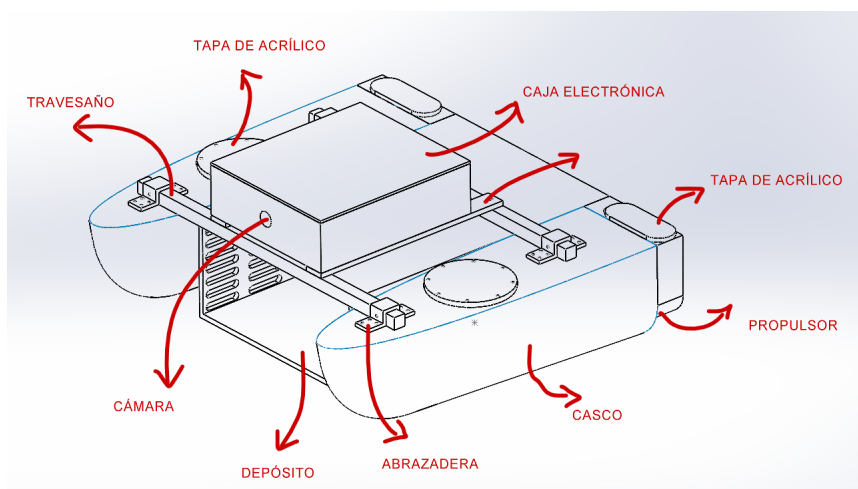


Figura 16. Boceto preliminar, por A. Sánchez y L. Suárez

VI-A2. *Diseño final:* En el diseño previo del dispositivo se detallaron diferentes elementos que se pretenden formen parte de este. A partir de esto y utilizando diversas fuentes se puede representar, para el diseño final del dispositivo, un diagrama de bloque de todos los subsistemas que lo componen, tal y como se aprecia en la figura 17.

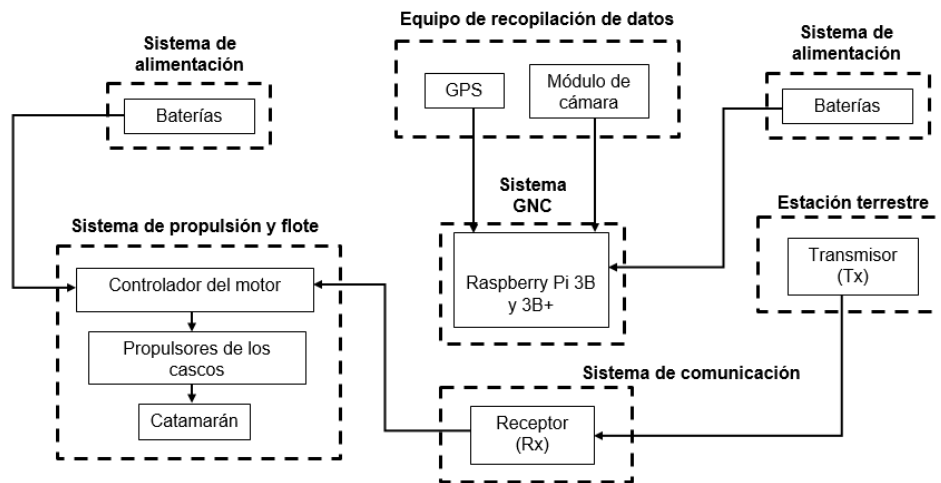


Figura 17. Diagrama de bloque del sistema, por A. Sánchez y L. Suárez

En el diagrama presentado, además de mostrar los subsistemas y los componentes que conformarán al dispositivo, también sirve como base para la inclusión de otros componentes que se deseen agregar al sistema principal.

Entre los subsistemas que se aprecian en el diagrama, los correspondientes al sistema de propulsión y flote, y al sistema de alimentación son de suma relevancia para el diseño del USV, ya que son la parte fundamental que debe determinarse, diseñarse y configurarse, para un correcto funcionamiento del dispositivo.

Con lo anteriormente expresado el paso inicial a desarrollar consistió en el diseño de la estructura que permitirá dar la flotación requerida al dispositivo, siendo este paso imprescindible para que se desempeñe sin ningún inconveniente. Para lograr esto, se consideraron dos alternativas a seguir para determinar los coeficientes y demás parámetros hidrostáticos necesarios para la evaluación de los parámetros mecánicos establecidos (flotabilidad, estabilidad y hermetismo).

Una opción para el diseño del casco es utilizar las fórmulas presentadas en secciones anteriores para determinar las dimensiones principales y otros parámetros. Esta opción permite crear una geometría de casco inicial que se ajuste a los requisitos específicos del proyecto. Utilizando esta técnica, se puede ajustar el diseño de acuerdo con las necesidades de estabilidad, capacidad de carga y velocidad requeridas.

La otra alternativa es utilizar el programa de modelado naval "Maxsurf", el cual puede proporcionar instantáneamente datos hidrostáticos del casco de cualquier embarcación, siempre y cuando se ingresen ciertos parámetros principales. Este software es capaz de realizar cálculos precisos de estabilidad, flotabilidad y otras características importantes de un casco. Además, este software también permite la simulación de diferentes escenarios de carga y condiciones de mar para garantizar la seguridad y la eficiencia del casco en una amplia gama de condiciones.

Teniendo en cuenta todo lo que se puede hacer con el programa de Maxsurf se eligió esta alternativa para el diseño del casco.

En un principio para estimar las dimensiones del casco, se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Tamaño
- Peso
- Coste de fabricación

Estos factores en conjunto ayudan a estimar de mejor manera las dimensiones del dispositivo que se busca desarrollar, además se busca que el dispositivo mantenga un equilibrio con los diferentes factores establecidos. Es

por esto por lo que se fijó al “tamaño” como el principal factor, ya que según las dimensiones que se establezcan, el peso y el coste de fabricación aumentarán.

Las dimensiones para el diseño del casco son las siguientes:

- Eslora (L) = 720 [mm]
- Manga (B) = 200 [mm]
- Calado máximo (T) = 200 [mm]

Con estas dimensiones se procedió a realizar el diseño del casco en el programa CAD “Solidworks”, diseño que puede observarse en la figura 18.

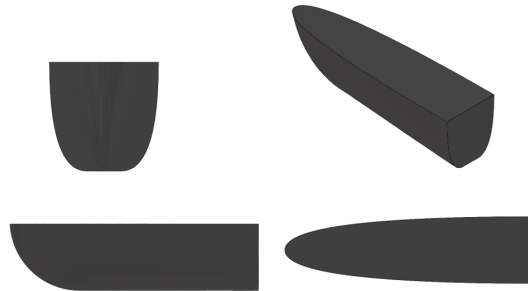


Figura 18. Vistas del casco diseñado, por A. Sánchez y L. Suárez

Para la determinación de los parámetros hidrostáticos se optó por el camino correspondiente al uso del programa “Maxsurf”.

Tomando en cuenta las dimensiones que tendrá el casco, entre otros datos necesarios para el diseño de una embarcación, se obtienen los datos hidrostáticos mostrados en la tabla V.

Tabla V
DATOS HIDROSTÁTICOS GENERADOS EN EL PROGRAMA MAXSURF

ítem	Parámetros	Valores	Unidades
1	Displacement	0,005	t
2	Volume (displaced)	0,005	m ³
3	Draft Amidships	0,08	m
4	Immersed depth	0,08	m
5	WL Length	0,659	m
6	Beam max extents on WL	0,173	m
7	Wetted Area	0,144	m ²
8	Max sect. area	0,01	m ²
9	Waterpl. Area	0,09	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,738	
11	Block coeff. (Cb)	0,548	
12	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,743	
13	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,788	
14	LCB length	-0,328	from zero pt. (+ve fwd) m
15	LCF length	-0,312	from zero pt. (+ve fwd) m
16	LCB %	-49,767	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
17	LCF %	-47,321	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
18	KB	0,047	m
19	KG fluid	0	m
20	BMt	0,035	m
21	BML	0,528	m
22	GMt corrected	0,082	m
23	GML	0,576	m
24	KMt	0,082	m
25	KML	0,576	m
26	Immersion (TPc)	0,001	tonne/cm
27	MTc	0	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	0	tonne.m
29	Length:Beam ratio	3,813	
30	Beam:Draft ratio	2,162	
31	Length:Vol ^{0.333} ratio	3,855	
32	Precision	Medium	62 stations

Con estos datos se procedió a realizar los cálculos para determinar todo lo que se necesita para cumplir con los parámetros mecánicos (flotabilidad, estabilidad y estanqueidad) impuestos en un principio.

Para el cálculo de la *carga máxima* se utilizó la fórmula 9 presentada en los fundamentos teóricos. Como el propósito del proyecto es el diseño de un catamarán, es decir una embarcación con doble casco, a la fórmula de la carga máxima se le multiplica por el número de cascos requeridos, que para el presente proyecto fue de 2.

$$m_{LDC} = 2 * B_{WL} * L_{WL} * T_C * C_p * C_m * \rho$$

$$m_{LDC} = 2 * 0,173 * 0,659 * 0,2 * 0,738 * 0,743 * 1000$$

$$m_{LDC} = 25,005 = 25 \text{ [kg]}$$

El valor obtenido refleja que el diseño hecho del casco tiene la capacidad de soportar 25 [kg]. Si el conjunto de cascos no fuera capaz de soportar el valor de la carga del USV, delimitado por el valor de la carga máxima, se deberá modificar las dimensiones del casco.

Otra de las características cruciales que deben considerarse para el diseño del USV es la separación que van a tener sus 2 cascos. Debido a esto se procedió a calcular la *manga entre los centros de los cascos* (B_{CB}).

Utilizando la fórmula impuesta con anterioridad se obtienen los siguientes parámetros mostrados en la tabla VI, en donde la relación eslora – manga (LBRC) de la fórmula 10, es el parámetro que se va a modificar según el criterio que se tiene con respecto a la separación que va a haber entre los cascos.

Tabla VI
VALORES DE B_{CB} PARA DISTINTAS RELACIONES LBRC, POR A. SÁNCHEZ Y L. SUÁREZ

L_H (mm)	LBRC	B_{CB} (mm)
720	2,6	276,92
720	2,5	288,00
720	2,4	300,00
720	2,3	313,04
720	2,2	327,27
720	2,1	342,86
720	2	360,00
720	1,9	378,95
720	1,8	400,00
720	1,7	423,53
720	1,6	450,00
720	1,5	480,00
720	1,4	514,29
720	1,3	553,85
720	1,2	600,00
720	1,1	654,55
720	1	720,00

En esta tabla el valor de LBRC igual a 2,2 me indica una estabilidad longitudinal y transversal con casi el mismo valor.

Como se puede apreciar a menor valor de la relación LBRC, más ancho se irá haciendo la manga B_{CB} . Esto último es importante, ya que para elegir que separación entre los cascos es la mejor se toma en cuenta la finalidad, recolección de desechos, con el que se quiere desarrollar el USV. Tomando en cuenta lo anteriormente descrito se

usará una LBRC igual a 1,6, es decir que la B_{CB} será aproximadamente igual a 450 [mm] para que haya suficiente separación entre los cascos, y por consiguiente mayor espacio para el depósito de recolección de los desechos.

Otro factor clave para el diseño de los cascos es la *estabilidad*, con la cual se busca que los dos metacentros, el punto de intersección de las líneas de acción de la fuerza de empuje, sean iguales. Utilizando las fórmulas [12](#) y [13](#) para determinar la altura transversal BM_T y longitudinal BM_L se obtiene lo siguiente:

$$BM_T = 2 * \left[\frac{(B_{WL})^3 * L_{WL} * (C_w)^2}{12} + L_{WL} * B_{WL} * C_w * (0,5 * B_{CB})^2 \right] * \frac{1000}{m_{LDC}}$$

$$BM_T = 2 * \left[\frac{(0,173)^3 * 0,659 * 0,788^2}{12} + 0,659 * 0,173 * 0,788 * (0,5 * 0,48)^2 \right] * \frac{1000}{25}$$

$$BM_T = 0,38 \text{ [m]}$$

$$BM_L = \frac{(2 * 0,92 * (L_{WL})^3 * B_{WL} * (C_w)^2)}{12} * \frac{1000}{m_{LDC}}$$

$$BM_L = \frac{(2 * 0,92 * (0,659)^3 * 0,173 * 0,788^2)}{12} * \frac{1000}{25}$$

$$BM_L = 0,19 \text{ [m]}$$

Se puede apreciar que los valores de la altura transversal y longitudinal que se calcularon no son iguales o no se aproximan a serlo. Esto se debe en gran parte al valor de la manga entre los centros de los cascos (B_{CB}). En la tabla [VII](#) que se muestra a continuación se consideran diferentes valores de B_{CB} , esto con la finalidad de visualizar como la altura transversal empieza a aproximarse al valor de la altura longitudinal, a medida que disminuye la separación entre los cascos.

Tabla VII
VALORES DE BM_T Y BM_L PARA DISTINTOS B_{CB} , POR A. SÁNCHEZ Y L. SUÁREZ

L_{WL}	B_{WL}	C_w	B_{CB} (m)	m_{LDC} (kg)	BM_T (m)	BM_L (m)
0,659	0,173	0,788	0,3273	25	0,21	0,19
0,659	0,173	0,788	0,3429	25	0,23	0,19
0,659	0,173	0,788	0,3600	25	0,25	0,19
0,659	0,173	0,788	0,3789	25	0,27	0,19
0,659	0,173	0,788	0,4000	25	0,30	0,19
0,659	0,173	0,788	0,4235	25	0,34	0,19
0,659	0,173	0,788	0,4500	25	0,38	0,19
0,659	0,173	0,788	0,4800	25	0,43	0,19

Con ayuda de esta tabla se puede considerar, si así se lo desea, una menor separación entre los cascos para obtener mayor estabilidad.

VI-B. Elección de componentes del USV

Una vez se determinó la estructura que permitirá al dispositivo desplazarse sobre los cuerpos de agua, lo próximo que se hizo fue seleccionar cuáles serán los elementos que lo acompañen en su navegación. Para ello se consideran todos los componentes que conformaran al dispositivo y se especifica las razones por las que fueron seleccionados. De entre estos componentes se tienen a los correspondientes al sistema de propulsión, sistema de comunicación, sistema GNC, sistema de equipos de recopilación de datos y sistema de alimentación.

VI-B1. Elección del sistema de propulsión: Para la elección del componente encargado del movimiento del USV se consideró la fórmula [15] para el cálculo de la fuerza de propulsión (F_P).

$$F_P = R_T + (m_{total} * a)$$

Para resolver las fórmulas planteadas en secciones anteriores se recopiló información que puede apreciarse en la tabla [IX], en donde se especifican los datos de ciertos parámetros del USV y del agua. Los parámetros del agua se obtuvieron a partir de los datos presentados en la tabla [VIII], y usando la temperatura promedio de la ciudad de Guayaquil, dato que [35] proporciona.

Tabla VIII
PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA PARA UNA PRESIÓN ATMOSFÉRICA ESTÁNDAR AL NIVEL DEL MAR [7]

Temp. °C	Peso Espec., γ (kN/m ³)	Densidad, ρ (kg/m ³)	Visc. Abs., μ (10 ⁻³ N-s/m ²)	Visc. Cin., ν (10 ⁻⁶ m ² /s)	Pre. Vap., p_v (kN/m ²)*
0	9.805	999.8	1.781	1.785	0.611
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.872
10	9.804	999.7	1.307	1.306	1.230
15	9.798	999.1	1.139	1.139	1.710
20	9.789	998.2	1.002	1.003	2.34
25	9.777	997.0	0.890	0.893	3.17
30	9.765	995.7	0.798	0.800	4.24
40	9.731	992.2	0.653	0.658	7.38
50	9.690	988.0	0.547	0.553	12.33

*Presión absoluta

Tabla IX
PARÁMETROS DEL USV Y DEL AGUA, POR A. SÁNCHEZ Y L. SUÁREZ

Elemento	Parámetros	Valores	Unidad
USV	L _{WL}	0.659	m
	B _{WL}	0.173	m
	T	0.2	m
	Δ	0.005	m ³
	C _p	0.738	
	m	25	kg
Agua (25 °C)	a	0.5	m/s ²
	ρ	997	kg/m ³
	ν	0.893	10 ⁻⁶ *m ² /s

En la fórmula [17] de la resistencia total mostrada anteriormente, la superficie mojada (S) corresponde al área del casco sumergido bajo el agua, la cual normalmente se calcula mediante programas hidrostáticos. Sin embargo, para una estimación rápida y bastante precisa de la superficie mojada, existen muchos métodos y fórmulas diferentes basados en solo unas pocas dimensiones principales del barco.

Para el análisis hecho se usó el software de arquitectura naval “Maxsurf”, que otorga datos hidrostáticos de donde se obtiene el siguiente valor de superficie mojada:

$$S = 0,144 [m^2]$$

Lo primero a calcular serán los coeficientes usados para determinar el C_T . Recordando estos coeficientes de una previa sección, se tienen los siguientes: C_F , C_A , C_{AA} y C_R .

Para calcular C_F se debe primero realizar el cálculo de la ecuación [19] para determinar el número de Reynold :

$$R_n = \frac{V * L_{WL}}{\nu}$$

$$R_n = 1 * 0,659(0,893 * 10^{-6} = 0,738 * 10^6$$

Reemplazando el valor conseguido se obtiene el siguiente valor de C_F :

$$C_F = \frac{0,075}{(\log(R_n - 2))^2} = \frac{0,075}{(\log(0,738 * 10^6 - 2))^2}$$

$$C_F = 0,00501$$

Para el coeficiente de resistencia incremental se utilizó el mínimo valor que este puede tener:

$$C_A = -0,0001$$

Para el coeficiente de resistencia del aire se utilizó el siguiente valor:

$$C_{AA} = 0,0001$$

Tanto el C_A como el C_{AA} permanecerán constantes para todas las velocidades, con la finalidad de una mayor facilidad en la realización de los cálculos.

Lo siguiente a calcular son los coeficientes residuales, en donde de entre todos los coeficientes que conforman el coeficiente residual (C_R) solo se tomarán en cuenta el coeficiente residual de diagrama y el de la relación manga-calado (B/T).

En primer lugar para obtener el coeficiente residual de diagrama ($C_{R,Diagram}$) se debe determinar el número de Froude (F_n) y la relación eslora - desplazamiento (M).

Para determinar F_n se tiene la ecuación [22](#):

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g * L_{WL}}} = \frac{1}{\sqrt{9,81 * 0,659}} = 0,39$$

Para determinar M se tiene la ecuación [23](#):

$$M = \frac{L_{WL}}{\Delta^{1/3}} = \frac{0,659}{0,005^{1/3}} = 3,85$$

Con los valores obtenidos se puede estimar, mediante la gráfica presentada en la figura [19](#), el coeficiente residual de diagrama.

En este gráfico las curvas corresponden a diferentes valores de (C_P). Como el coeficiente prismático, determinado previamente en la tabla [V](#) es 0,738, se usará el valor más cercano en el presente gráfico que es de 0,7.

Considerando todo lo anterior, el coeficiente residual de diagrama es:

$$C_{R,diagram} = 0,0094$$

Por ultimo, para el calculo de $C_{R,B/T \neq 2,5}$ se tiene lo siguiente:

$$C_{R,B/T \neq 2,5} = 0,16 * \left(\frac{B_{WL}}{T_c} - 2,5 \right) * 10^{-3} = 0,16 * \left(\frac{0,173}{0,08} - 2,5 \right) * 10^{-3}$$

$$C_{R,B/T \neq 2,5} = -0,000054$$

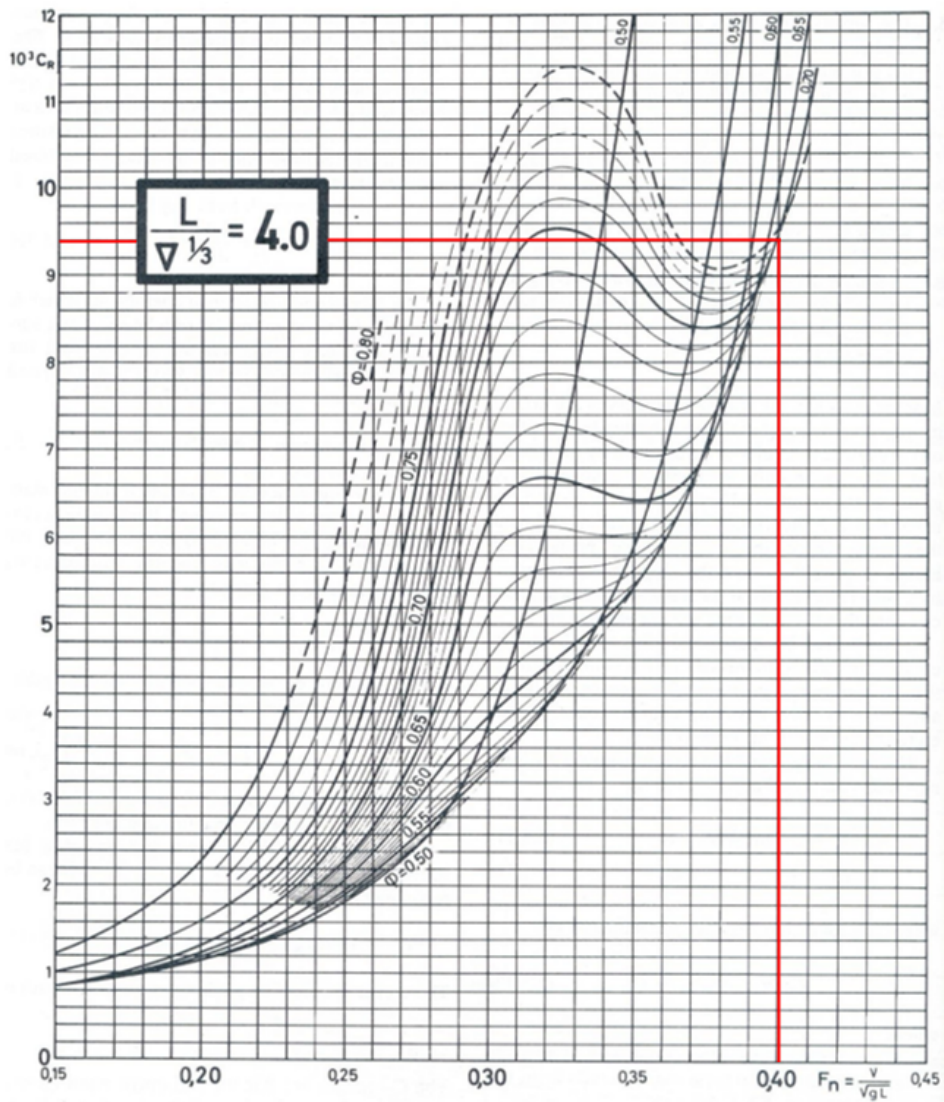


Figura 19. Diagrama C_r según Halvald [18]

Con los coeficientes calculados se tiene la siguiente expresión para el cálculo del coeficiente total, usando la fórmula [16]:

$$C_T = C_F + C_A + C_{AA} + C_R = 0,00501 - 0,0001 + 0,0001 + (0,0094 - 0,000054)$$

$$C_T = 0,01436$$

Una vez determinado el coeficiente total se tiene la siguiente expresión para el cálculo de la resistencia total:

$$R_T = \frac{V^2 * S * \rho}{2} * C_T = \frac{1^2 * 0,144 * 997}{2 * 0,01436} = 1,03 \text{ [N]}$$

Esta resistencia total le correspondería a cada casco, por lo que al necesitar de 2 cascos se debe realizar la siguiente multiplicación:

$$R_T = 2 * 1,03 = 2,06 \text{ [N]}$$

Por último, para determinar la fuerza de propulsión necesaria se calculará la siguiente expresión:

$$F_P = R_T + (m_{total} * a) = 2,06 + (25 * 0,5) = 14,56 \text{ [N]}$$

Esta sería la fuerza de propulsión que requerirán ambos cascos, por lo que a cada uno le correspondería 7,28 [N], que equivale a 0,74 [Kgf]. Además, este último cálculo me indica la fuerza de propulsión mínima, que requiere el USV, para realizar un movimiento a la velocidad de 1 [m/s].

La curva que se aprecia en la figura 20 es generada a partir de los datos de velocidad y fuerza de propulsión obtenidos de la tabla XI. Esto se hace con el propósito de representar como se comporta la fuerza de propulsión requerida a medida que aumenta la velocidad.

Cabe destacar que la fuerza de propulsión calculada es la mínima fuerza que requieren los propulsores para romper la inercia, es decir para que inicie el movimiento del USV. Una vez el USV consigue desplazarse sobre los cuerpos de agua a una velocidad constante, la fuerza requerida será menor por lo que se podrán alcanzar mayores velocidades.

Tabla X
VALORES DE F_P DEL USV, POR A. SÁNCHEZ Y L. SUÁREZ

V [m/s]	Rn	Coeficiente de resistencia total					RT [N]	FP [N]	FP [kgf]
		CF	CA	CAA	CR	CT			
1,00	7,38E+05	5,01E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01436	2,06	7,28	0,74
1,15	8,49E+05	4,86E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01421	2,70	7,60	0,78
1,30	9,59E+05	4,73E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01408	3,42	7,96	0,81
1,45	1,07E+06	4,62E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01397	4,22	8,36	0,85
1,60	1,18E+06	4,52E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01387	5,10	8,80	0,90
1,75	1,29E+06	4,44E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01378	6,06	9,28	0,95
1,90	1,40E+06	4,36E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01371	7,10	9,80	1,00
2,05	1,51E+06	4,29E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01364	8,23	10,36	1,06
2,20	1,62E+06	4,23E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01358	9,43	10,97	1,12
2,35	1,73E+06	4,17E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01352	10,72	11,61	1,18
2,50	1,84E+06	4,12E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01347	12,08	12,29	1,25
2,65	1,96E+06	4,07E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01342	13,53	13,01	1,33
2,80	2,07E+06	4,03E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01337	15,05	13,78	1,41
2,95	2,18E+06	3,99E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01333	16,66	14,58	1,49
3,10	2,29E+06	3,95E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01329	18,34	15,42	1,57
3,25	2,40E+06	3,91E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01326	20,10	16,30	1,66
3,40	2,51E+06	3,87E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01322	21,94	17,22	1,76
3,55	2,62E+06	3,84E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01319	23,86	18,18	1,85
3,70	2,73E+06	3,81E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01316	25,86	19,18	1,96
3,85	2,84E+06	3,78E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01313	27,94	20,22	2,06
4,00	2,95E+06	3,75E-03	-0,0001	0,0001	9,35E-03	0,01310	30,09	21,30	2,17

Los valores que se muestran en la tabla XI también ayudan a saber el mínimo valor de fuerza que requiere el USV para alcanzar distintas velocidades.

Para este caso, la curva tiende a crecer, ya que a medida que aumenta la velocidad, la fuerza de propulsión también aumenta.

Por otro lado, hay que considerar otros aspectos para la elección del propulsor, como lo son: sus dimensiones y tipo de señal de control. Es por ello que se recopilieron diferentes datos que se muestran en la tabla XI, en donde se consideran las principales características del propulsor que se selecciono, a partir de los cálculos previamente realizados referentes a la propulsión del USV.

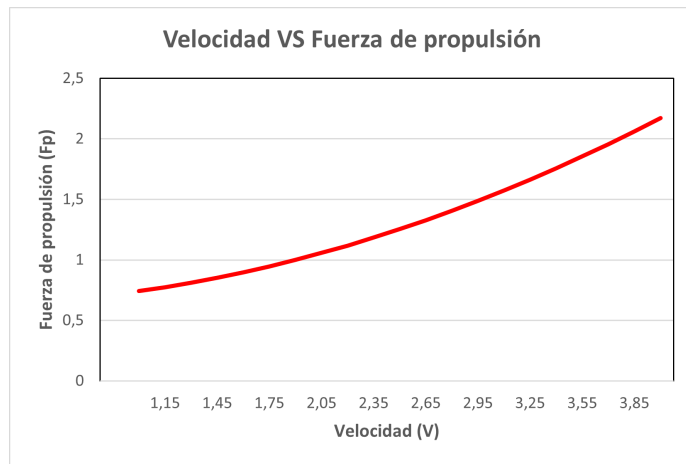


Figura 20. Gráfica velocidad vs fuerza de propulsión, por A. Sánchez y L. Suárez

Tabla XI
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PROPULSOR

CARACTERÍSTICAS PROPULSOR	
Modelo	Underwater Thruster 16V 300W Brushless Motor
Tipo de motor	sin escobillas
Kv (rpm x voltio)	860 rpm/v
Potencia máxima	300 W
Voltaje de entrada	12V-16V (3-4S Lipo)
Consumo máximo	15 - 23 A
Empuje	1,65 - 2,1 kg
Dimensiones	92 x 72 x 77 mm
Peso	160 g
Señal de control	ESC (PWM)
ESC recomendado	30 A



Figura 21. Propulsor submarino “16V - 300W con motor sin escobillas” [13]

El propulsor, mostrado en la figura 21, que cumple con las necesidades impuestas para el movimiento del sistema es el “Underwater Thruster 16V 300W”, ya que tiene un empuje más que suficiente para el correcto funcionamiento del sistema, además de poder ser controlado por medio de un ESC.

Por otro lado, el ESC es un componente que dispone de un sistema de control incorporado y para su elección se deben tomar en cuenta que el propulsor seleccionado tenga la propiedad de poder ser controlado por PWM (Modulación por ancho de pulso, traducido de sus siglas en inglés). Además, este de contar con un voltaje y amperaje dentro del rango adecuado para su uso en conjunto al propulsor.

Para saber que voltaje y amperaje requiere el componentes en cuestión, se realiza lo siguiente:

En primer lugar, se deben determinar los valores correspondientes a los parámetros de voltaje y consumo (corriente/amperaje) con el que trabaja el motor sin escobillas del propulsor. Estos valores pueden extraerse de la tabla XI. Una vez hecho esto los valores son los siguientes:

- Voltaje = 12 - 16 [V]
- Amperaje = 15 - 23 [A]

Lo recomendado es que el amperaje del controlador deba ser un 30% más alto que el máximo amperaje del motor. Para comprobar esto, en el ESC que se vaya a elegir, se tiene el siguiente cálculo:

$$I_{ESC} = I_{MAX.MOTOR} + (0,3 * I_{MAX.MOTOR})$$

$$I_{ESC} = 23 + (0,3 * 23) = 29,9 = 30 [A]$$

Según la información otorgada de las características del propulsor y de los cálculos realizados, se debe escoger un ESC, mostrado en la figura 22, con un amperaje de mínimo 30 [A] y un valor de voltaje entre 12 y 16 [V].

Las características del ESC seleccionado se puede apreciar en la tabla XII.

Tabla XII
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ESC

CARACTERÍSTICAS ESC	
Modelo	30A RC Brushless Motor ESC
Voltaje de entrada	LiPo 2-4S
Voltaje máximo	16,8V
Corriente	30A
Tipo de motor	Sin escobillas
Dimensiones	53 x 25 x 11 mm
Peso	33 g



Figura 22. Controlador electrónico de velocidad (ESC) para motor sin escobillas [30]

VI-B2. *Elección del sistema de comunicación:* Para el sistema de comunicación se utilizó un dispositivo de radio control, que se muestra en la figura 23, el cual a partir de radio frecuencia envía señales que inciden directamente sobre el sistema propulsivo del USV. De esta manera a partir del radio control se controlará inalámbricamente la posición y el desplazamiento del dispositivo.

Este sistema de comunicación está compuesto por un transmisor, ubicado junto al operador en la estación terrestre, y un receptor, que se encuentra ubicado en el dispositivo.

El transmisor posee 6 canales, los cuales son los habilitados para ser usados en la transmisión de señales. Para el caso del USV a desarrollar, al poseer un sistema propulsivo de carácter diferencial, solo se necesitarán de 2 canales (1 canal para cada propulsor) para el control de los movimientos (adelante, atrás, izquierda, derecha).

El rango de operación que tiene es de 500 [m] que son más que suficientes para cumplir con la finalidad respecto al funcionamiento del dispositivo.

La características del transmisor se presentan en la tabla XIII.

Tabla XIII
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TRANSMISOR (TX)

CARACTERÍSTICAS TRANSMISOR	
Modelo	Flysky FS-i6
Número de canales	6
Potencia radio frecuencia	<20 dBm
Rango de control	500 m
Longitud de antena	26 mm
Dimensiones	190 x 172 x 89 mm
Peso	392 g



Figura 23. Transmisor “FlySky FS-i6” [8]

El receptor, que se puede apreciar en la figura 24, se encarga de recibir las señales enviadas por el transmisor. De la misma manera este posee 6 canales, de los cuales solo 2 se utilizarán para el USV.

La características del receptor se presentan en la tabla XIV.

Tabla XIV
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL RECEPTOR (RX)

CARACTERÍSTICAS RECEPTOR	
Modelo	FS-iA6B
Voltaje de entrada	4 - 6,5 V
Número de canales	6
Potencia de transmisión	< 20 dBm
Sensibilidad del receptor RF	-105 dBm
Longitud de antena	26 mm
Dimensiones	47 x 26 x 15 mm
Peso	15 g



Figura 24. Receptor "FS-iA6B" [8]

VI-B3. Elección del sistema GNC: Un sistema embebido puede ser considerado como una computadora central que envía órdenes a los diferentes módulos electrónicos conectados. Al elegir la computadora central, es importante considerar su frecuencia y memoria RAM, ya que algunos procesos pueden requerir un mayor tiempo de procesamiento dependiendo de la función que deben desempeñar. También es importante considerar la cantidad de entradas para distintos periféricos y el número de pines GPIO (entrada/salida de propósito general) disponibles. Esto permitirá seleccionar un sistema embebido que pueda manejar eficazmente todas las entradas y salidas requeridas para su función específica.

El modelo del sistema embebido elegido es el Raspberry Pi 3 Modelo B, que puede apreciarse, en la figura de la izquierda de la figura 25. Este cuenta con las siguientes conexiones:

- 4 x USB 2.0
- 1 x Salida audio mini jack 3.5 mm
- 1 x Salida audio/vídeo HDMI
- 1 x Micro USB (Alimentación)

- 1 x RJ45 10/100 Ethernet

Las mejores que tiene el Raspberry Pi 3B en comparación a su predecesor son las siguientes:

- Procesador ARMv8 Cortex-A53 64-bit Quad-Core @ 1.2GHz (50 % más rápido que el 2B)
- 1GB de RAM.
- Wifi integrado 802.11 b/g/n
- Bluetooth 4.1 y BLE.

Durante el desarrollo del proyecto, surgieron ciertos inconvenientes en relación con la implementación de los sistemas GPS y de identificación de residuos en el Raspberry seleccionado. En síntesis, ambos sistemas resultaron incompatibles con las versiones de programación utilizadas que eran necesarias para su correcto funcionamiento de manera individual. Por lo tanto, se decidió incorporar otro sistema embebido en el proyecto, eligiendo específicamente el modelo 3B+ del Raspberry Pi.

Las mejores que tiene el Raspberry Pi 3B+ en comparación a su predecesor (Raspberry Pi 3B) son las siguientes:

- Procesador ARMv8 Quad-Core 64-bit a 1.4GHz.
- CPU con disipador de metal.
- Gigabit Ethernet.
- Wifi de 2.4Ghz y 5Ghz integrado 802.11 b/g/n/ac.
- Bluetooth 4.2 y BLE.
- Regulación de voltaje más eficiente.

Para la elección del sistema también se tomó en cuenta el grado de compatibilidad que tienen los módulos elegidos para el funcionamiento del dispositivo. En la tabla **XV**, se muestran las características más representativas del sistema seleccionado.

Tabla XV
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA EMBEBIDO

CARACTERÍSTICAS SISTEMA EMBEBIDO	
Modelo	Raspberry Pi 3B/3B+
Voltaje de entrada	5 V
Corriente	2,5 A
Conector de entrada (alimentación)	Micro USB
Dimensiones	85,6 x 56,5 x 17 mm
Peso	45 g

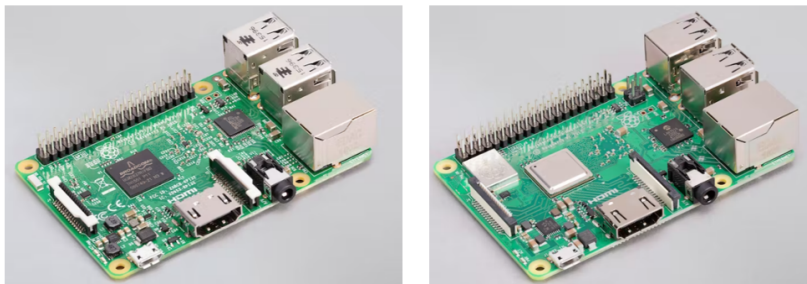


Figura 25. Sistema embebido “Raspberry Pi 3 Modelo B/B+” [29]

Dado que el sistema embebido estará funcionando dentro de una caja con características impermeables, se ha decidido incluir como accesorio un ventilador diseñado específicamente para enfriar el sistema. Las características de este ventilador son las siguientes:

- Tensión de Funcionamiento de 5 [V]
- Conector de 2 pines (ph2.0)
- Nivel sonoro de 25 [dBa] \pm 10 %
- Revoluciones: 9000 [rpm] \pm 10 %
- Dimensiones: 30 x 30 x 8 [mm]
- Peso: 7 [gr]

VI-B4. *Elección del sistema de equipos de recopilación de datos:* Se eligió una cámara compatible específicamente para la placa de Raspberry Pi. Este módulo cuenta con un conector CSI-2 que encaja en la interfaz para la cámara de la placa. Entre sus características más destacadas, están las presentadas en la tabla XVI, donde la resolución de 8MP para el presente proyecto tiene un alto nivel de importancia ya que para aplicaciones de visión artificial es recomendado usar un sensor con un valor de MP (megapíxeles) de al menos la cantidad que posee el módulo mostrado en la figura 26.

Tabla XVI
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO DE CÁMARA

CARACTERÍSTICAS CÁMARA	
Modelo	Raspberry Pi módulo de cámara V2
Resolución	8 MP 3280 x 2464
Velocidad máxima de transferencia de imágenes	1080p (30fps) 720p (60fps)
Conector	CSI-2 (cable de 15 pines)
Dimensiones	23,86 x 25 x 9mm
Peso	3 g

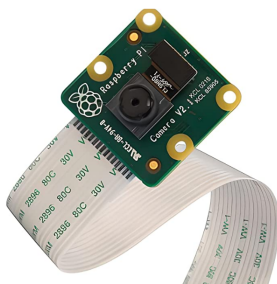


Figura 26. Módulo de cámara “Raspberry Pi V2” [29]

Otro equipo capaz de recolectar datos es el GPS, el cual es un componente primordial para la programación que tendrá el USV, y para su automatismo, en un caso se lo requiera. Este componente entrega parámetros como dirección, posición e incluso la velocidad, según la aplicación que desempeñe el dispositivo al que se lo añada. Además, mediante el uso de la geolocalización se pueden realizar, con las lecturas hechas: tablas, mapeos, rutas, etc.

Para el caso del presente proyecto el módulo GPS seleccionado, presentado en la figura 27, es uno fabricado y distribuido por la empresa Adafruit.

Las características del módulo GPS son las presentadas en la tabla XVII.

Tabla XVII
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL GPS

CARACTERÍSTICAS GPS	
Modelo	Adafruit Ultimate GPS Breakout (ADA746)
Voltaje de entrada	3,3 - 5V
Corriente	20 mA
Sensibilidad de adquisición	-145 dBm
Sensibilidad de seguimiento	-165 dBm
Presición	3 m
Dimensiones	35 x 25.4 x 6.6 mm
Peso	8,5 g

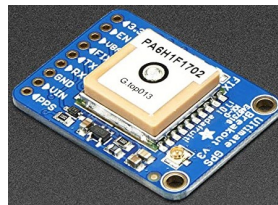


Figura 27. Módulo GPS “Adafruit Ultimate (ADA746)” [2]

Además, para mejorar la recepción de la señal del GPS, se decidió incorporar una antena externa conectada al conector UFL del módulo. Al hacerlo, se espera aumentar la sensibilidad del receptor GPS, logrando una mejor recepción de señales débiles y mejorando la precisión de la ubicación. Además, las antenas externas suelen ser más eficientes que las antenas internas, lo que permite una mejor cobertura en áreas con obstrucciones o interferencias. Es fundamental asegurarse de que la antena esté correctamente instalada y alineada con el satélite para obtener los mejores resultados en la recepción de señal del GPS.

VI-B5. Elección del sistema de alimentación: Tanto el propulsor como el controlador de velocidad electrónico (ESC) requieren una batería que cumpla con ciertos parámetros para su correcto funcionamiento. En el presente proyecto, se ha optado por utilizar baterías de Li-Po (Litio y Polímero) debido a sus amplios usos en dispositivos de radio control a escala, así como a sus características superiores en comparación con otras pilas. Estas baterías proporcionan un alto rendimiento, son más ligeras, compactas y tienen una mayor capacidad de energía en relación a su tamaño. Es importante tener en cuenta que se deben seguir las especificaciones del fabricante para garantizar una operación segura y adecuada.

Para la elección de las baterías, se analiza el consumo que van a tener los componentes. En primer lugar, se realizan unas tablas clasificando los componentes por su voltaje de alimentación. De esta manera se construyen 2 tablas, 1 para los propulsores y la otra para la red electrónica.

En la tabla [XVIII](#), se muestran los componentes alimentados con 16 [V], que es el máximo voltaje de alimentación que los propulsores aceptan.

Tabla XVIII
CONSUMO DEL PROPULSOR

COMPONENTE ELECTRÓNICO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	VOLTAJE (V)	TIEMPO (h)	POTENCIA (Wh)	CONSUMO (Ah)
PROPULSORES	2	300	16	0,5	300	18,75

De la anterior tabla se tiene que la potencia que consumen los propulsores será aproximadamente de 300 [Wh]. De esta manera teniendo la potencia y el voltaje se determina la cantidad de corriente necesaria:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{300}{16} = 18,75 \text{ [Ah]}$$

La cantidad de corriente necesaria es de 18750 [mAh], esto quiere decir que se deben seleccionar un conjunto de baterías de 16 [V] y que cumplan con la capacidad calculada.

Según algunos criterios analizados se considera como mejor opción, para la alimentación de los 2 propulsores, la elección de 2 baterías Li-Po de 22,2 [V] con 5000 [mAh] cada una, como se aprecia en la figura 28. De tal forma que para conseguir el voltaje necesario para el funcionamiento del sistema propulsivo se requerirá del uso de reguladores reductores.

En la tabla XIX se cuenta con las características técnicas de la batería seleccionada.

Tabla XIX
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BATERÍA DE 22,2 V

CARACTERÍSTICAS BATERÍA	
Modelo	Turnigy 5000mAh 6S 25C Lipo Pack
Capacidad	5000 mAh
Configuración	6S1P/22,2 V/6 celdas
Descarga constante	25C
Máxima descarga (10 s)	50C
Conector de carga	JST-XH
Conector de descarga	XT90
Dimensiones	203 x 76,2 x 76,2 mm
Peso	680 g



Figura 28. Batería de 22,2 V – 5000 mAh [14]

Como se indico anteriormente, el sistema propulsivo necesitará de un regulador reductor, como el que se aprecia en la figura 29, el cual no es mas que un circuito electrónico que permite disminuir el voltaje de entrada otorgado por una fuente de alimentación de alto voltaje o muy variable. De entre este tipo de reguladores se encuentra el mostrado en la figura x, que posee el circuito integrado “LM25116”. Este módulo tiene 2 potenciómetros, con 25 vueltas de ajuste cada uno, que permiten ajustar el voltaje y la corriente de la salida. Posee una eficiencia del 95 % (reduciendo un voltaje de entrada de 24 V a 12 V-20 A en la salida). Además, incorpora protección contra cortocircuitos por lo que no puede cortocircuitarse durante mucho tiempo.

Las características del regulador reductor seleccionado se pueden apreciar en la tabla XX.

Tabla XX
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL REGULADOR REDUCTOR

CARACTERÍSTICAS DEL REGULADOR DE VOLTAJE	
Modelo	Diymore 20 A 300 W
Voltaje de entrada	6 - 40 V (DC)
Voltaje de salida	1,2 - 36 V (DC)
Corriente de salida	20 A
Dimensiones	60 x 53 x 27 mm
Peso	112,83 g



Figura 29. Regulador reductor de voltaje “DIYMORE 20 A 300 W” [4]

Para los componentes electrónicos es importante destacar que la elección de la batería debe ser cuidadosamente considerada, ya que debe cumplir con los requisitos específicos de los componentes que conforman la red electrónica, como el sistema embebido y los dispositivos conectados a ella. Además, se debe tener en cuenta el tiempo de vida útil de la batería, la capacidad de carga y la corriente máxima que puede suministrar, entre otros aspectos. Por lo tanto, se requiere una evaluación exhaustiva de las necesidades energéticas del sistema y de cada uno de los componentes que lo integran, para seleccionar la batería adecuada que garantice un rendimiento óptimo y una larga duración de uso. En este sentido, la tabla XXI proporciona una guía útil para el cálculo de la capacidad de carga de la batería en función de los parámetros relevantes, lo que permitió tomar una decisión informada en la selección de la batería más adecuada para el sistema electrónico.

Tabla XXI
CONSUMO DE LOS COMPONENTES DE LA RED ELECTRÓNICA, POR A. SÁNCHEZ Y L. SUÁREZ

COMPONENTE ELECTRÓNICO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	VOLTAJE (V)	TIEMPO (h)	POTENCIA (Wh)	CONSUMO (Ah)
GPS	1	0,066	3,3	1	0,066	0,02
CAMARA	1	0,495	3,3	1	0,495	0,15
VENTILADOR	1	1	5	1	1	0,2
RASPERRY	2	3	5	1	6	1,2
TOTAL					7,561	1,57

Para la selección de la batería adecuada para alimentar el sistema embebido del proyecto, se consideraron varios factores entre los que destacan esta la capacidad de carga, la duración de la batería, el tamaño y la eficiencia energética. Para el presente trabajo y siguiendo los cálculos realizados, se requiere una batería de 5 [V] con una corriente mínima de 1570 [mAh] para satisfacer las necesidades energéticas del dispositivo por el tiempo de 1 hora. La tabla **XXII** muestra las especificaciones técnicas de la batería, que se muestra en la figura **30**, que se eligió con una capacidad mayor a la necesaria para garantizar un funcionamiento confiable del dispositivo.

Es importante destacar que, para la elección de la alimentación del sistema, se tomó como referencia un modelo convencional de powerbank. No obstante, siempre y cuando se cumpla con lo obtenido en los cálculos, representados con sus valores en la tabla **XXI** se puede llegar a utilizar otros modelos de power bank y de mayor capacidad, ya que de esta forma no se tendría que estar cargando a cada rato las baterías, lo que ocasiona mayor deterioro al elemento.

Tabla XXII
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BATERÍA DE 5 V

CARACTERÍSTICA BATERÍA 5 V	
Modelo	Power Bank TL-PB10400
Capacidad	10400 mAh
Corriente de salida	1-2 A
Tension de salida	5 V
Conector de entrada	1 puerto micro USB
Conector de salida	2 puertos USB 2.0
Dimensiones (aproximado)	88,8 x 44,3 x 44,3 mm
Peso (aproximado)	241 g



Figura 30. Power Bank de 5 V - 10400 mAh

VI-B6. *Elección del sistema eléctrico:* En la etapa de diseño y construcción de un dispositivo electrónico es muy importante determinar qué cables se necesitan y cómo se deben conectar los componentes eléctricos. Es por esta razón que se procedió a realizar el diagrama presentado en la figura 31 para detallar todas las conexiones que se llevarán a cabo entre los diferentes componentes pertenecientes al dispositivo. Esto es crucial para garantizar un correcto funcionamiento del dispositivo y evitar problemas como cortocircuitos o sobrecargas eléctricas.

Para determinar qué cables son necesarios, es necesario tener en cuenta las especificaciones de cada componente, tales como la corriente y voltaje de entrada y salida. También es importante considerar la longitud y el diámetro de los cables, ya que estos factores pueden afectar la calidad de la señal eléctrica y la cantidad de corriente que se puede transportar.

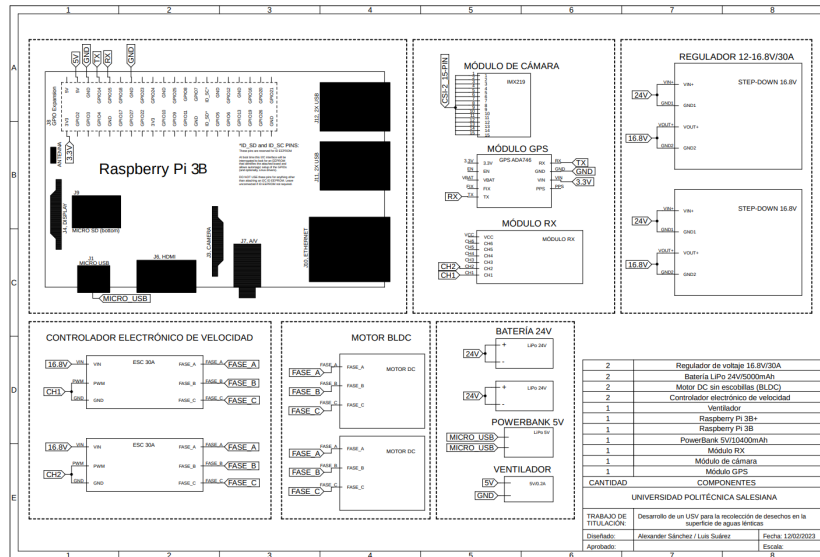


Figura 31. Diagrama de componentes electrónicos y sus conexiones, por A. Sánchez y L. Suárez, Eagle 2022

En este diagrama no aparece representado, entre todos los componentes pertenecientes al USV, el Raspberry 3B+ por falta de espacio y que el diagrama fue hecho con la finalidad de que únicamente se utilice 1 sistema embebido. Debido a inconvenientes de compatibilidad que surgieron al momento de implementar los sistemas de geolocalización y de identificación de residuos, se decidió usar otro sistema embebido (Raspberry Pi 3B+) ante la necesidad de que los sistemas funcionen sin errores.

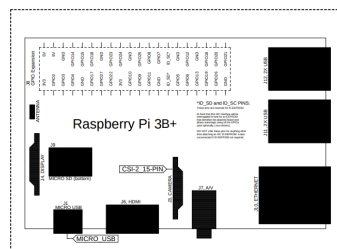


Figura 32. Raspberry Pi 3B+ y sus conexiones, por A. Sánchez y L. Suárez, Eagle 2022

El diagrama junto a todos sus componentes están disponibles en el anexo A.

Conociendo todas las conexiones que tendrá el dispositivo, así como los componentes y sus características, se podrá determinar los cables necesarios para abastecer de manera segura a todos los componentes. Para ello se tiene la información presentada en la tabla XXIII, en donde se detalla la sección de cable para distintos valores de intensidad. Además, se incluye el diámetro que debería tener esta sección, con la finalidad de corroborar que efectivamente se está usando un cable con el calibre adecuado.

Tabla XXIII
 TABLA DE INTENSIDAD MÁXIMA QUE SOPORTAN CABLES ELÉCTRICOS

AWG	Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Corriente máxima
1	42,41	7,35	135
2	33,63	6,54	121
4	21,15	5,19	96,2
6	13,30	4,11	76
8	8,37	3,26	57,3
10	5,26	2,59	40,3
12	3,31	2,05	30,2
14	2,08	1,63	22,8
16	1,31	1,29	18,1
18	0,82	1,02	14,4
20	0,52	0,81	11,4

Esta tabla muestra la capacidad máxima de corriente para distintos valores de AWG (calibre de alambre americano, por sus siglas en inglés), en un cable de cobre con aislamiento de PVC, que es el tipo de cable más comúnmente utilizado. Esta información se presenta considerando una temperatura ambiente de 30°C, lo que permite elegir el calibre adecuado para garantizar una transferencia de corriente segura y eficiente en cada caso.

El calibre y la longitud de los cables del dispositivo, focalizando la elección de estos para el sistema de propulsión, se pueden apreciar en la figura 33.

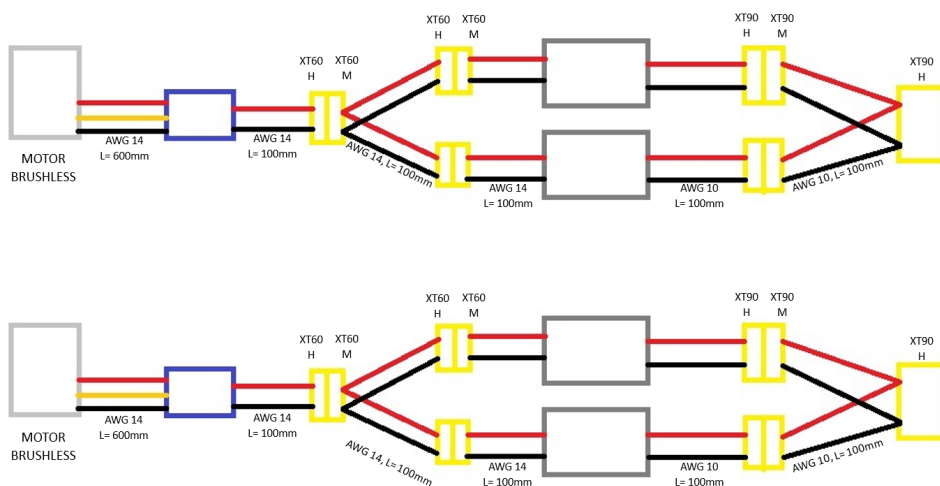


Figura 33. Diagrama de los cables del sistema de propulsión, por A. Sánchez y L. Suárez

Finalmente, es importante tener en cuenta que la capacidad de corriente máxima también depende de otros factores, como la longitud del cable, la temperatura ambiente y la aplicación específica, por lo que siempre es recomendable consultar con un profesional eléctrico calificado para determinar la capacidad de corriente adecuada para la aplicación.

VI-C. Fabricación

En esta sección se recopila el proceso que se llevó a cabo para la fabricación de los componentes utilizados en el desarrollo del dispositivo. Es por esta razón que se realizó el diseño mecánico del USV para garantizar el éxito del proceso de fabricación de las piezas necesarias, así como la correcta distribución de las mismas. Este diseño del USV puede apreciarse en la figura 34.

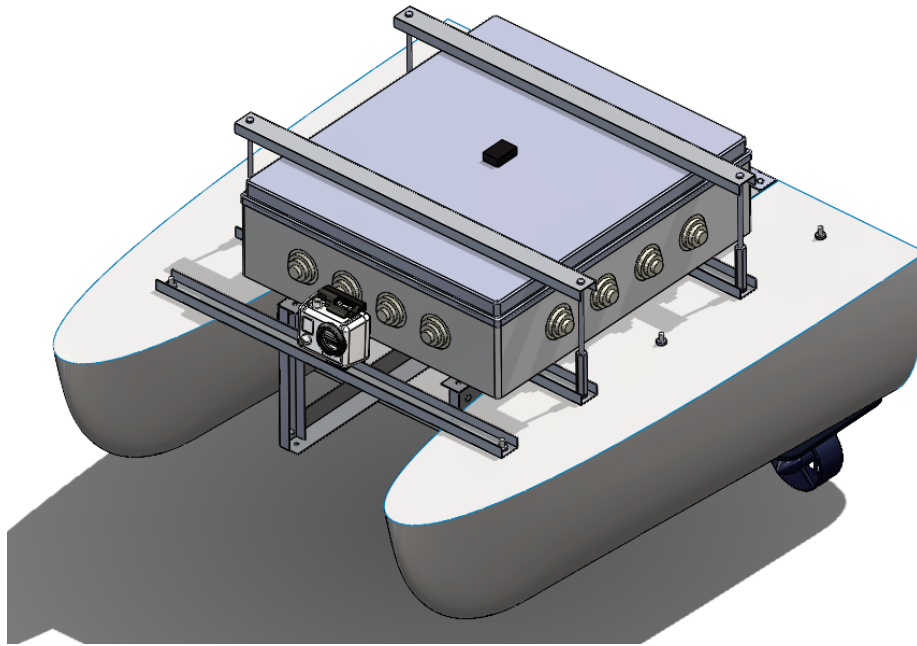


Figura 34. Diseño mecánico del USV, por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks 2022

En este diseño se incluyen elementos tales que:

- Casco.
- Estructuras de soporte (todos los travesaños usados para el soporte de la caja).
- Caja de componentes (donde se incluyen los componentes del USV).
- Depósito de recolección (no se incluye el diseño de la red que envuelve la pieza).
- Propulsores (con sus respectivos soportes).

Para una mejor apreciación de estos componentes se tiene el siguiente conjunto de imágenes de la figura 35.

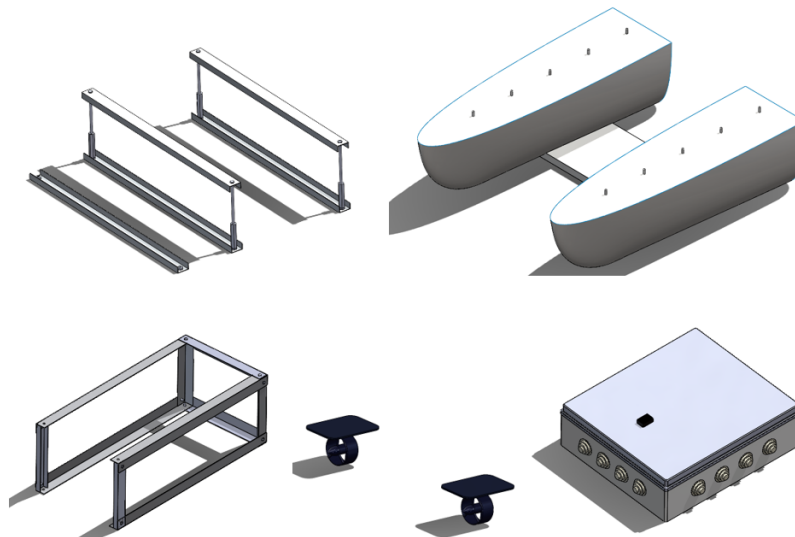


Figura 35. Macro componentes pertenecientes al USV , por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks 2022

VI-C1. *Cascos*: Se puede clasificar la fabricación de los cascos en 3 etapas. En la *primer etapa* se usó una técnica basada en la elaboración de moldes, en este caso mediante el uso de poliestireno expandido (EPS). Este material será usado como base para la fabricación de los cascos, es por esta razón que se usaron 2 bloques de EPS con dimensiones de 100 x 20 x 20 [mm], a los cuales se les dio la forma y medidas del casco diseñado. El proceso que se siguió para el moldeo del EPS se puede apreciar en la figura 36.



Figura 36. Proceso de moldeo de los cascos usando EPS, por A. Sánchez y L. Suárez

En la figura 36, el literal a) corresponde a una de las vistas que se usaron del sólido diseñado para dar la forma deseada, el literal b) muestra los 2 bloques de EPS usados, el literal c) muestra el corte del bloque a partir de la forma delimitada, el literal d) corresponde al proceso de pulido para rectificar la forma de los cascos y en el literal e) se muestran los 2 moldes con la forma de los cascos diseñados.

Como preámbulo a la *segunda etapa* se tiene que para una mayor protección del dispositivo, ante posibles impactos de los cascos con objetos de gran tamaño o que ocasionen daños (desde leves hasta graves), se tomó en cuenta la implementación de una estructura interna elaborada de hierro negro, elegido por tener alta resistencia a la tensión, resistencia a la corrosión y fácil de maniobrar. Además, la estructura también será capaz de brindar apoyo a la unión de los cascos, en el caso de que llegue a surgir alguna avería que imposibilite el correcto funcionamiento de los soportes principales que unen los cascos y donde se reposan los componentes del USV.

En la etapa de fabricación de los cascos, se utilizó una técnica que consistió en la sección y unión de varillas de hierro negro liso de 1/4 [pulg] de diámetro, que se aprecian en la figura 37, con el objetivo de crear la estructura interna del casco. Para ello, se tuvo en cuenta las medidas y formas principales del casco, y se cortaron las varillas de manera precisa para cumplir con estas especificaciones.



Figura 37. Cortes de varillas para los nervios del casco, por A. Sánchez y L. Suárez

Una vez que se tuvieron las varillas cortadas, se procedió a su ensamblaje. Para lograr esto, se utilizó una máquina de soldadura, la cual permitió unir las varillas de manera firme y segura, y de esta forma crear la estructura del casco.

Posteriormente, se llevó a cabo el proceso de pulido, el cual permitió mejorar el acabado en la superficie de las uniones soldadas. Para ello, se utilizó una pulidora, la cual permitió obtener un acabado óptimo y una superficie uniforme y lisa en las zonas soldadas.

Cabe destacar que la técnica utilizada en la fabricación de los cascos fue cuidadosamente seleccionada con el objetivo de garantizar la máxima calidad y durabilidad de los mismos. De esta forma, se logró crear un producto resistente y seguro, que cumple con los más altos estándares de calidad en la industria.

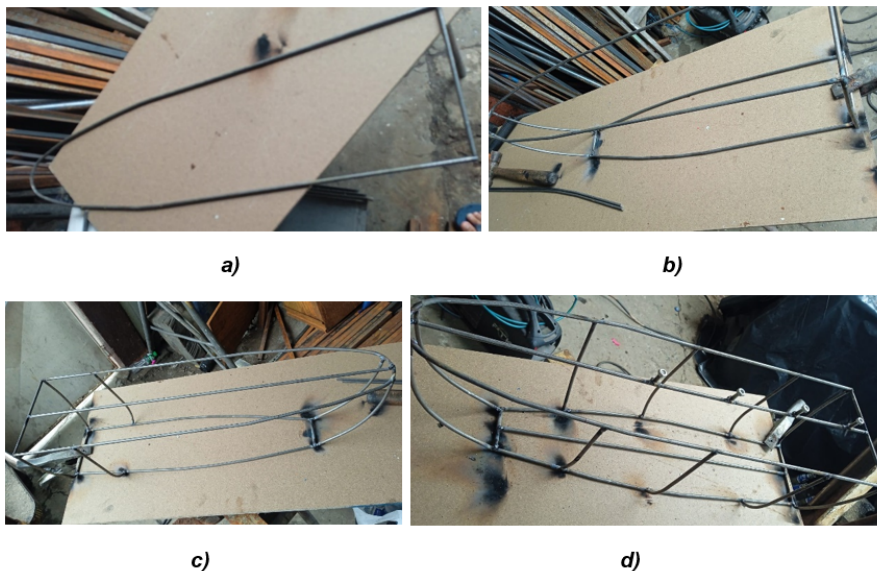


Figura 38. Proceso de unión de varillas para creación de los nervios estructurales del casco, por A. Sánchez y L. Suárez

En la figura [38](#), el literal a) muestra la parte superior de los nervios, el literal b) corresponde a la soldadura de diferentes varillas para adoptar la forma del casco, el literal c) se empiezan a colocar los nervios laterales y uno

en la parte superior que marca el centro de la estructura, y por último, en el literal d) se muestra la estructura con todos sus nervios y que adoptan la forma de los cascos diseñados previamente, además se soldaron pernos para otorgar a la estructura la capacidad de, a partir de sus propias secciones, poder acoplarse o soldarse los travesaños que unen los 2 cascos.

Este proceso se aplicó a cada casco de forma individual. Posteriormente, se unieron ambos cascos desde sus bases, tal como se muestra en la figura 39, para garantizar seguridad en caso de que los cascos del dispositivo se desacoplen de la estructura que los une y que brinda soporte a la caja de componentes.



Figura 39. Unión de la estructura interna de los 2 cascos, por A. Sánchez y L. Suárez

Por último, en la *tercer etapa* para completar la fabricación de los cascos del dispositivo, se utilizará un material llamado “fibra de vidrio tipo e”. Este material fue elegido por su disponibilidad en el mercado local, además de contar con propiedades que lo hacen idóneo para ser utilizado en la fabricación de los cascos. En la tabla XXIV puede visualizarse algunas de las propiedades que posee la fibra de vidrio seleccionada.

Tabla XXIV
PROPIEDADES DE LA FIBRA DE VIDRIO TIPO E

Propiedades	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	2,6
Tensión de rotura	MPa	2,4
Temperatura máxima de operación	°C	550
Temperatura pico	°C	700
Conductivada térmica (20 °C)	Wm ⁻¹ . K ⁻¹	0,8

En esta etapa, se aplico la fibra siguiendo la forma de la estructura que se realizó en la etapa anterior, asegurándose de cubrir tanto los cascos como la base realizada con dos varillas paralelas. Para garantizar una buena adherencia de las tres láminas de fibra, se utiliza una mezcla de resina y otros compuestos.

Una vez aplicadas las láminas de fibra de vidrio y la resina, se aplica un sellador con el fin de evitar que el agua se filtre a través de posibles fisuras en la fibra y la resina. Se puede apreciar el resultado final en la figura 40.



Figura 40. Casco con fibra de vidrio, por A. Sánchez y L. Suárez

Es importante destacar que la correcta aplicación de la fibra de vidrio y la resina, así como la aplicación adecuada del sellador, son cruciales para garantizar la seguridad y la estabilidad de la estructura en su conjunto.

VI-C2. Soportes: Para la fabricación de los soportes que mantendrán la caja de componentes por encima de la parte superior o la obra muerta del casco del dispositivo, se utilizó como material de construcción una aleación de aluminio de la serie 6XXX, más concretamente la 6063-T5.

La selección del material se basó en varios criterios. En primer lugar, se consideró la disponibilidad en el mercado local, lo que permitió acceder a un suministro constante y confiable. Además, se valoró su resistencia mecánica elevada, baja densidad y resistencia a la corrosión, lo que garantiza una larga vida útil de los productos fabricados. Otras ventajas incluyen su facilidad para mecanizar, su capacidad para recibir tratamientos como el anodizado o lacado, y su baja necesidad de cuidado o mantenimiento especial. En definitiva, se seleccionó una aleación de aluminio ligera, fácil de soldar y no tóxica, que se adapta perfectamente a la fabricación de perfiles de aluminio para uso residencial, comercial e industrial [17].

Para una mejor apreciación de esta y otras piezas del dispositivo se pueden visualizar los planos dentro del anexo A. En esa sección se puede apreciar la figura 70, que es el travesaño diseñado para los soportes del USV.

VI-C3. Depósito de recolección: El depósito de recolección fue hecho a partir de travesaños de perfiles en "L y U", diseñados previamente y que se aprecian en el anexo A, de manera que tenga la forma de un cajón, como se muestra en la figura 41, pero solo con las esquinas solidas, esto con la finalidad de que no quede agua dentro. La unión de estos perfiles se hizo a partir de remaches porque ofrecen una unión fuerte y duradera, especialmente en aplicaciones donde se requiere una gran resistencia mecánica. Por último, este depósito es cubierto de una red para que se mantengan los desechos recolectados en su interior.



Figura 41. Depósito de recolección, por A. Sánchez y L. Suárez

VI-D. Ensamblaje

VI-D1. Soportes para la parte inferior de la caja: Una vez que se prepararon los travesaños, esto se juntan para proporcionar soporte a la caja de componentes y mejorar la unión entre los cascos. Para esta unión, de los travesaños y los cascos, se utilizó un método de acoplamiento mediante pernos de 3/4 [pulg] y sus correspondientes tuercas. Los pernos se encajaron en los agujeros de los extremos de cada travesaño, como se muestra en la figura 42.

Los pernos utilizados aseguran una conexión sólida y resistente entre la estructura interna y el soporte externo, lo que contribuye a la estabilidad y seguridad del casco del dispositivo.



Figura 42. Ensamble entre travesaños y casco, por A. Sánchez y L. Suárez

VI-D2. Soportes para la parte superior de la caja: Para la parte superior se utilizaron el mismo tipo de travesaños que los usados en los soportes inferiores, con la particularidad de que solo se usan 3 de estos. Este soporte sirve para mantener la caja de componentes adquirida con normativa IP65, bien sujeta con los soportes de la parte inferior.

Los soportes superiores fueron unidos a los soportes inferiores, a partir de pernos de 3/4 [pulg] con una longitud de 4 [pulg] y adicionando tuercas de 3/4 [pulg] con 2 [pulg] de largo.

Este ensamble entre los soportes y la caja puede apreciarse en la figura 43.



Figura 43. Ensamblaje entre soportes y caja de componentes, por A. Sánchez y L. Suárez

VI-D3. *Depósito de recolección:* El depósito de recolección fue instalado en el dispositivo en el espacio que este deja entre sus cascos, siendo la principal razón, como ya se lo ha indicado previamente, de que sea haya elegido este tipo de casco (catamarán) para aprovechar el volumen que queda por la separación.

En la figura 44 se puede apreciar la ubicación del depósito y la red de contención utilizada para evitar la fuga de los desechos.



Figura 44. Instalación del depósito, por A. Sánchez y L. Suárez

VI-D4. *Propulsores:* Los propulsores fueron ensamblados a la superficie inferior del casco, mediante los soportes que se incluyeron en su compra. La instalación de estos soportes se los hizo a partir de un pegamento epóxico cuyo nombre comercial es "Pegatanke". Siguiendo los pasos que se detallan en la página oficial del producto, se consiguió adherir cada uno de los propulsores a los extremos del casco. Uno de los propulsores instalados pueden visualizarse en la figura 45.



Figura 45. Ensamble entre propulsores y casco, por A. Sánchez y L. Suárez

VI-D5. *Sistema eléctrico:* Las conexiones que se realizaron de los componentes pertenecientes al dispositivo, tomando como guía el diagrama de la figura 31 y el de la figura 33, de manera física se pueden apreciar en la figura 46.

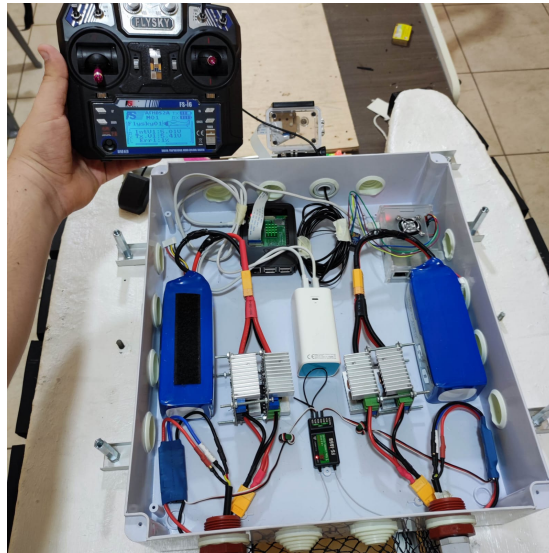


Figura 46. Conexiones de los componentes, por A. Sánchez y L. Suárez

VI-E. Distribución de componentes

La distribución de los componentes del dispositivo fue un punto clave al momento de armar y juntar todos los elementos de este, ya que la correcta ubicación de los componentes otorgó un mejor equilibrio y estabilidad al dispositivo. Se distribuyeron los elementos dentro de la caja de componentes de acuerdo a un diseño previamente establecido, que puede apreciarse en la figura 47, asegurándose de que cada componente estuviera en su lugar correspondiente.

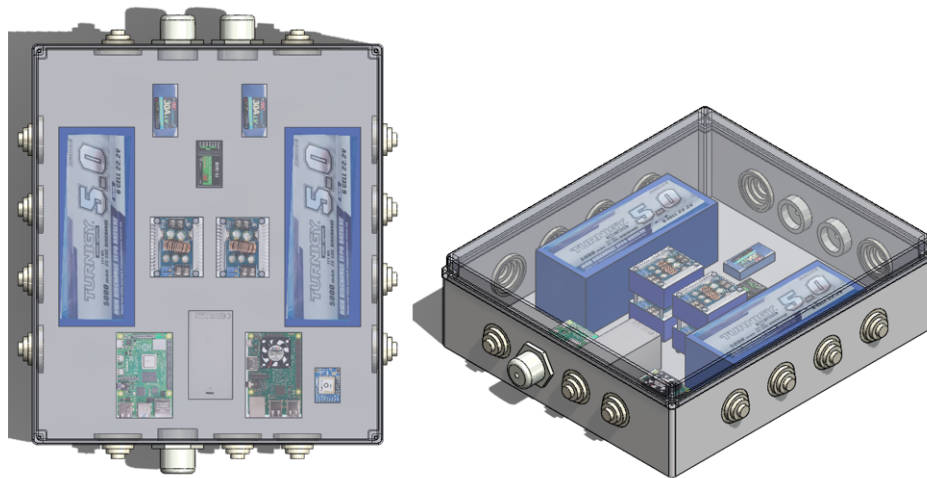


Figura 47. Distribución de los componentes en la caja electrónica, por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks 2022

En esta figura únicamente se presentan los elementos que están dentro de la caja de componentes, ya que existen otros como la cámara, la antena externa para el gps y los propulsores, los cuales se encuentran fuera en diferentes puntos a lo largo de la superficie del dispositivo.

Por último, la estabilidad del dispositivo se vio favorecida por un factor adicional, consistente en que el peso de la obra viva (casco del dispositivo) superó al de la obra muerta (estructura que se mantiene fuera del agua), logrando de esta manera que el centro de gravedad se ubicara por debajo del metacentro. Para corroborar que

efectivamente los pesos son mayores, se recopiló la información acerca de las masas. Esta información se muestra en la tabla [XXV](#).

Tabla XXV
MASAS DE LOS COMPONENTES DEL DISPOSITIVO, POR A. SÁNCHEZ Y L. SUÁREZ

MASA EN LA OBRA MUERTA				
TIPO	COMPONENTES	CANTIDAD	MASA	UNIDAD
ELECTRÓNICO	ESC	2	66	g
	CAMARA y SOPORTE	1	150	g
	BATERIA 22,2 V	2	1360	g
	POWER BANK 5 V	1	241	g
	GPS y ANTENA	1	50	g
	RASPBERRY PI 3 B	1	45	g
	REGULADOR DE VOLTAJE	4	451,32	g
	RECEPTOR (RX)	1	15	g
MECÁNICO	CABLES y CONECTORES	1	200	g
	CAJA DE COMPONENTES	1	1000	g
	ESTRUCTURA DE SOPORTE INFERIOR	1	310	g
	ESTRUCTURA DE SOPORTE SUPERIOR	1	200	g
	TOTAL		4,09	kg

MASA EN LA OBRA VIVA				
TIPO	COMPONENTE	CANTIDAD	MASA	UNIDAD
POTENCIA	PROPULSOR	2	320	g
MECÁNICO	SOPORTE DE PROPULSOR	2	238,14	g
	CASCO (ESTRUCTURA INTERNA Y LAMINACIÓN DE FIBRA)	1	8000	g
	TOTAL		8,56	kg

VI-F. Calibración del sistema de propulsión

La calibración del ESC consiste en programar el controlador electrónico de velocidad junto con los demás componentes del sistema. Existen dos formas de realizar esta programación: mediante una tarjeta de programación específica o a través del transmisor [\[30\]](#). En nuestro caso, hemos elegido la segunda opción.

Antes de comenzar con la calibración del controlador, es importante tener los componentes del sistema correctamente conectados, y asegurándose de que las conexiones y juntas de soldadura estén adecuadamente aisladas, tal y como se muestra en la figura [\[48\]](#).

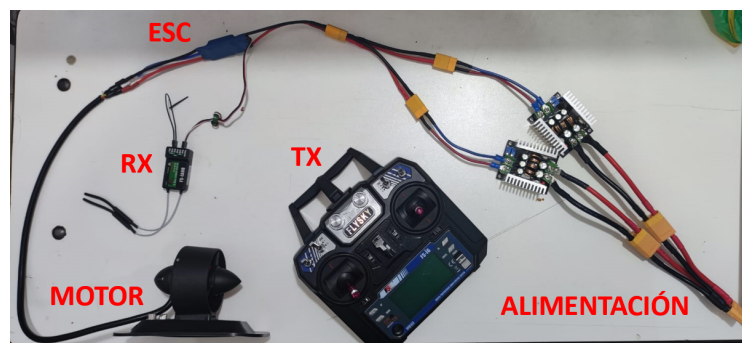


Figura 48. Sistema de propulsión, por A. Sánchez y L. Suárez

Para calibrar el rango del acelerador (ubicado en el transmisor o radio control), concluimos que era recomendable seguir los siguientes pasos:

- Asegurarse de que el acelerador del transmisor se encuentre en la posición máxima [\[30\]](#).
- Conectar la alimentación (baterías) al ESC [\[30\]](#).

- Esperar cerca de 5 segundos hasta escuchar un pitido corto emitido por el motor. El ESC repetirá estos pitidos cortos un total de cuatro veces. Mientras se esta en el proceso se puede seguir con el siguiente paso [30].
- Mover el acelerador a la posición mínima [30].
- Después de unos segundos, el motor emitirá dos pitidos cortos seguidos de dos pitidos largos para confirmar que la calibración del rango del acelerador se ha completado [30].
- Desconectar la alimentación del ESC [30].
- La calibración del rango del acelerador está completa y el ESC está listo para ser utilizado [30].

Estos pasos pueden apreciarse en el diagrama de la figura 49.

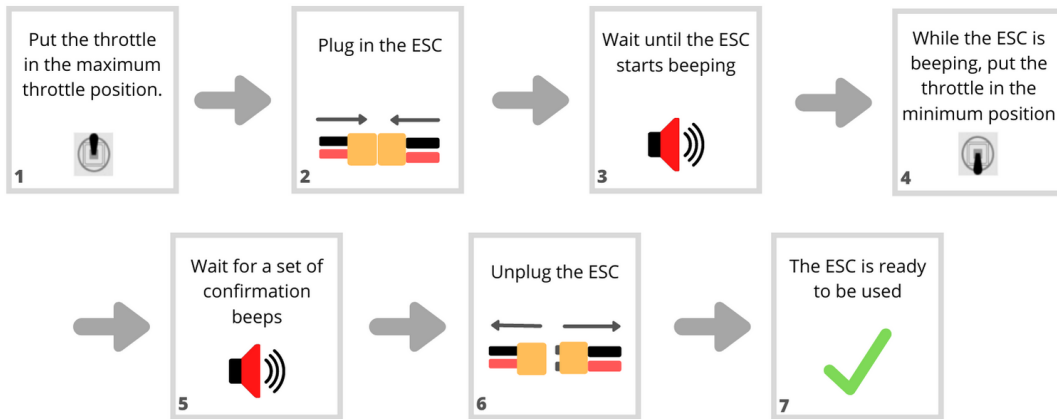


Figura 49. Procedimiento de calibración [30]

Es importante tomar en consideración que este procedimiento es recomendado cuando se utiliza el ESC por primera vez o cuando se ha realizado un cambio de receptores.

VI-G. Configuración y programación del transmisor para el sistema de propulsión

El funcionamiento básico del sistema implica dos operaciones: la primera es activar ambos propulsores para lograr que el dispositivo avance, y la segunda es activar uno de los propulsores, ya sea el derecho o el izquierdo, para que el dispositivo se mueva hacia la derecha o la izquierda, respectivamente. Estos movimientos de las palancas del control se puede apreciar en la figura 50.



Figura 50. Movimientos que se pueden realizar con las 2 palancas principales, por A. Sánchez y L. Suárez

Como paso previo para realizar las configuraciones de las acciones que realizarán las palancas se debe desactivar los canales auxiliares VRA y VRB, tal y como se aprecia en la figura 51.



Figura 51. Desactivación de los canales auxiliares, por A. Sánchez y L. Suárez

Después de calibrar el sistema, se procede a configurar en el transmisor, los canales seleccionados y/o activos en el receptor. Para lograr el avance del dispositivo, se utiliza la palanca izquierda del transmisor para activar ambos canales simultáneamente. Cabe destacar que todo este proceso se lleva a cabo directamente en el transmisor y puede comprobarse el correcto funcionamiento observando como se comportan los propulsores.

Para realizar la configuración del avance se utiliza el *Mix 1* en el control remoto, en donde se incluye un offset del -2% que permite activar un propulsor antes que otro al mover la palanca de potencia. Es importante destacar que el ajuste del offset puede requerir cierta experimentación, ya sea utilizando valores positivos o negativos, hasta encontrar el punto en el que ambos propulsores se activen con el menor movimiento posible de la palanca.

Para realizar la configuración de giro, tanto a la izquierda como a la derecha, se tienen los siguientes mix, que para una mayor apreciación se muestran en la figura 52:

- La configuración del *Mix 2* consiste en hacer girar un solo propulsor para que el dispositivo puede realizar un giro hacia la derecha. Este mix hace que cuando se gire la palanca derecha (maestro/canal 1) hacia la derecha, ocasione en el esclavo (Canal 5) que esté en la posición positiva +100%, para que active solo un motor que sería el ubicado en el canal 5.
- Por último, la configuración del *Mix 3* consiste en hacer girar un solo propulsor para que el dispositivo puede realizar un giro hacia la izquierda. Este mix hace que cuando se gire la palanca derecha (maestro/canal 1) hacia la izquierda, ocasione en el esclavo (Canal 3) que esté en la posición negativa -100%, para que active solo un motor que sería el ubicado en el canal 3.

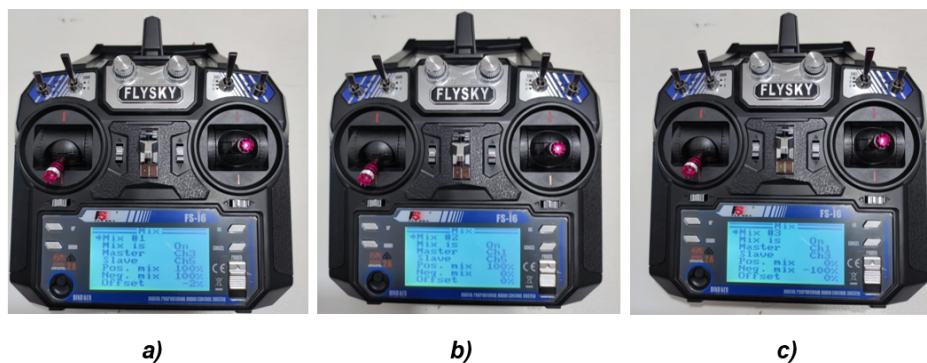


Figura 52. Configuración de los 3 mix para el movimiento del dispositivo, por A. Sánchez y L. Suárez

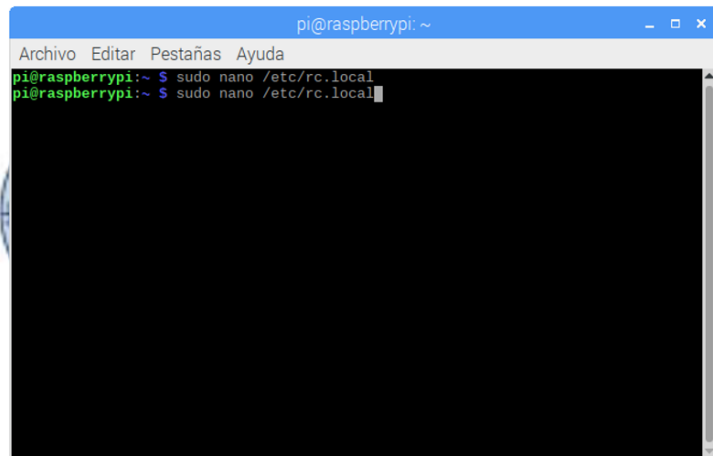
En la figura 52 el literal a) corresponde a la configuración del Mix 1, el literal b) corresponde a la configuración del Mix 2 y el literal c) corresponde a la configuración del Mix 3.

VI-H. Programación de algoritmos de localización para el sistema GPS

Se ha desarrollado un programa llamado "gps.py", véase en el anexo C la figura 83, para configurar el sistema. Este programa utiliza el GPS "Ultimate Breakout V3" para leer datos de latitud y longitud cada 2 [s], siempre que la operación no sea interrumpida. El GPS continuará proporcionando datos hasta que se le indique lo contrario o se apague el dispositivo. Los datos se guardan en un archivo de texto que se actualiza automáticamente cada 2 [s] con las nuevas lecturas del GPS.

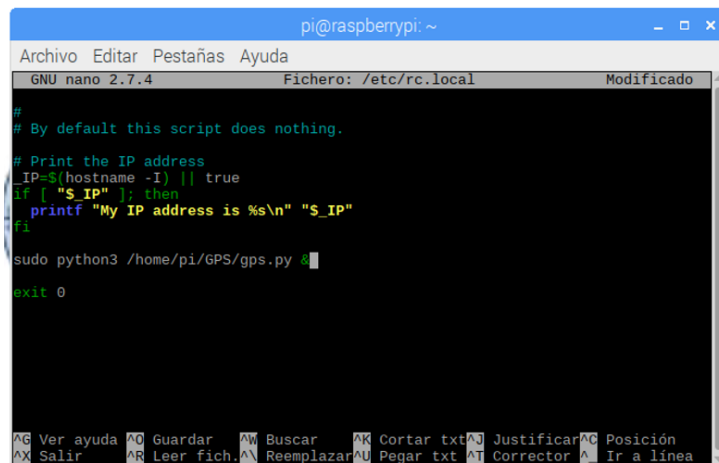
Por ultimo, como se desea ejecutar el programa una vez se ponga en marcha el dispositivo, se realizaron las siguientes modificaciones en el "rc local" del raspberry:

- Primero se necesito ejecutar el código mostrado en la figura 53.
- Luego de esto aparecieron ciertos elementos de texto en la terminal, por lo que se fue bajando hasta llegar a una línea donde se ubica el texto "exit 0". Tomando de referencia la linea donde se ubica esta expresión se escribió la línea de código mostrado en la figura 54, y posterior a esto se ejecutó.
- Por ultimo, se guardaron los cambios hechos y se reinició el Raspberry, a partir del código mostrado en la figura 55, para que pueda corroborarse el método de auto-ejecución implementado.



```
pi@raspberrypi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@raspberrypi:~$ sudo nano /etc/rc.local  
pi@raspberrypi:~$ sudo nano /etc/rc.local
```

Figura 53. Paso 1 para la configuración de la auto-ejecución de un programa



```
pi@raspberrypi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
GNU nano 2.7.4 Fichero: /etc/rc.local Modificado  
#  
# By default this script does nothing.  
# Print the IP address  
_IP=$(hostname -I) || true  
if [ "$_IP" ]; then  
  printf "My IP address is %s\n" "$_IP"  
fi  
sudo python3 /home/pi/GPS/gps.py  
exit 0  
AG Ver ayuda AO Guardar AW Buscar AK Cortar txt AJ Justificar AO Posición  
AX Salir AR Leer fich. AN Reemplazar AU Pegar txt AT Corrector AU Ir a línea
```

Figura 54. Paso 2 para la configuración de la auto-ejecución de un programa

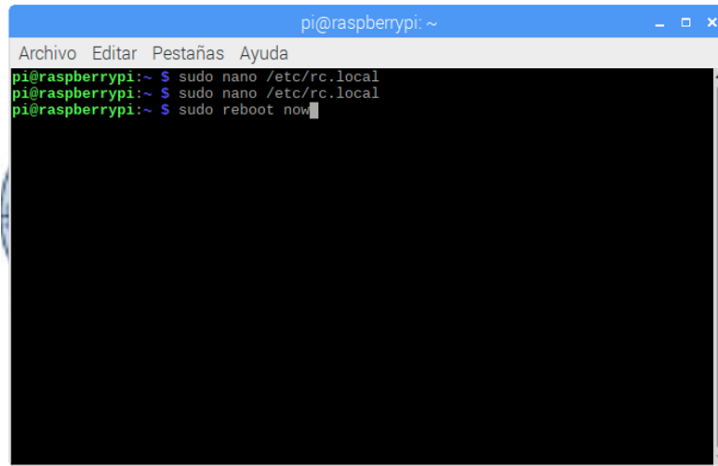


Figura 55. Paso 3 para la configuración de la auto-ejecución de un programa

Habiendo seguido estos pasos, cada vez que se reinició o se volvió a encender el sistema embebido, se ejecutó automáticamente el programa con nombre "gps.py", lo cual a su vez generó un archivo de texto llamado posiciones con las coordenadas angulares (latitud y longitud) necesarias para determinar la ubicación exacta, y por ende la trayectoria del dispositivo.

El archivo se genera cada vez que se ejecuta el GPS, es decir que si se enciende el dispositivo en una fecha y hora específicas, se guardará un archivo con esa fecha y hora. Por otro lado si se apaga el dispositivo y se enciende en otro momento, se creará otro archivo con la nueva fecha y hora. Se hizo esto con la finalidad de mantener las trayectorias realizadas en orden y, por ende, tener una mejor supervisión del trabajo realizado por el USV.

La ubicación de estos archivos puede apreciarse en la figura 56

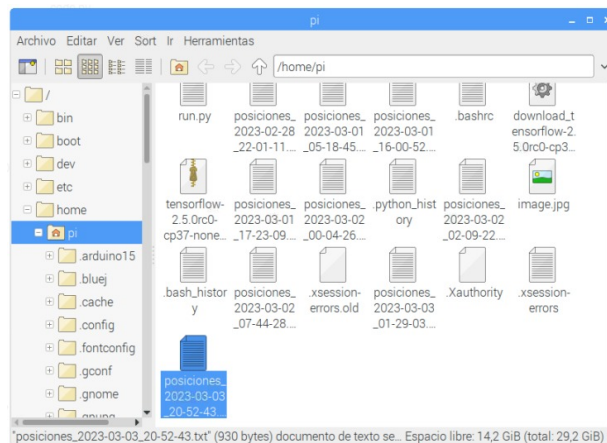


Figura 56. Ubicación del archivo de texto posiciones con fecha y hora

El método implementado para la auto-ejecución de programas permite que uno o varios de estos se inicien automáticamente cada vez que se enciende el sistema embebido, lo que brinda una mayor flexibilidad y eficiencia en el funcionamiento del sistema.

VI-I. Entrenamiento del modelo de aprendizaje automático para el sistema de identificación de residuos

En esta sección se describe el proceso que se realizó para el entrenamiento del modelo que se usará para el identificador de residuos flotantes. Para realizar esto se tuvieron en mente algunos modelos de aprendizaje automático, pero en definitiva se optó por el uso de una herramienta llamada Teachable Machine, la cual nos brinda la oportunidad de realizar estos modelos de forma sencilla y rápida, mediante una interfaz agradable al usuario en

donde solo se deben de cargar imágenes en sus respectivas clases y especificar otros parámetros que te explican para que sirven. Esta interfaz se la puede visualizar en la figura [57](#)

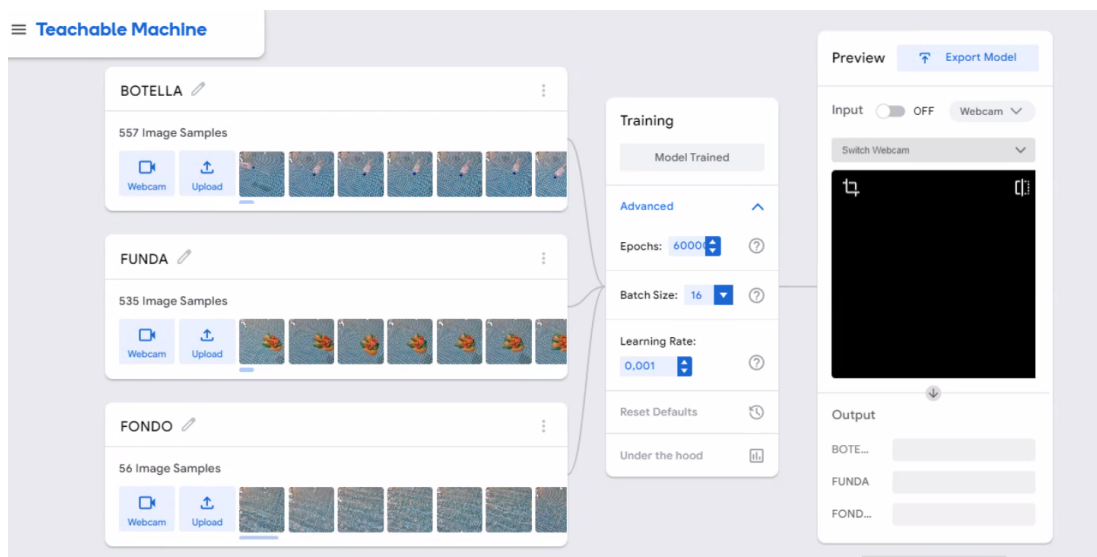


Figura 57. Entrenamiento del modelo de aprendizaje automático a partir de una base de datos propia

Como se puede apreciar en la figura presentada el entrenamiento tuvo 2 fases:

- La primera fase consistió en crear las clases y subir los datos (imágenes de desechos flotantes). Estas clases permiten clasificar los elementos/datos que van a ser usados para el entrenamiento, además de esta forma es como el modelo aprende a identificar y diferenciar los objetos que se colocan frente a una cámara.
- La segunda fase consistió en entrenar al modelo, a partir del icono [Preparar modelo] en la sección de [Preparación]. Además, en este apartado también se puede mejorar el nivel de aprendizaje del modelo a partir de modificaciones como en el aumento de la cantidad de épocas, que permiten un mejor y más fiable aprendizaje del modelo

En primer lugar, en la sección de preparación se colocó la cantidad de épocas con las cuales se desea entrenar al modelo. Para el entrenamiento de nuestro modelo se optó por el uso de 60000 épocas. Debido a la cantidad de datos y a la cantidad de épocas especificadas, el proceso de entrenamiento tuvo una duración de 6 horas.

Luego, habiendo finalizado el entrenamiento se procedió a exportar el modelo en el formato de Tensorflow Lite y con conversión a cuantificado, tal y como se puede apreciar en la figura [58](#).



Figura 58. Formato del modelo entrenado

Por último, se descargaron los archivos con formato .tflite y .txt, siendo cada uno de ellos, el modelo entrenado y las clases (BOTELLA, FUNDA y FONDO).

VI-J. Instalación de librerías necesarias para la ejecución del modelo de aprendizaje automático

Luego de procesar los datos de entrenamiento en la herramienta Teachable Machine, se obtuvieron los archivos necesarios para el funcionamiento del identificador de residuos. Estos archivos, que contienen los modelos de aprendizaje automático entrenados, fueron transferidos al Raspberry Pi 3B+ para su implementación.

Cabe destacar que la elección del Raspberry Pi 3B+ se debió a su capacidad de procesamiento suficiente para ejecutar las tareas requeridas por el identificador de residuos. Además, su bajo consumo de energía y su tamaño compacto lo hacen ideal para aplicaciones de este tipo.

Una vez en el Raspberry Pi, el código necesario para la clasificación de los residuos fue implementado y configurado para interactuar con la cámara y el modelo de aprendizaje automático. De esta manera, al detectar un residuo en la imagen capturada por la cámara, el modelo de aprendizaje automático es utilizado para clasificar el residuo en su categoría correspondiente.

Para la implementación del modelo desarrollado y con el propósito de llevar a cabo las pruebas necesarias para validar su funcionamiento, se siguieron los siguientes pasos:

- Introducir el comando `[git clone https://github.com/sunfounder/pan-tilt-hat.git]` en la terminal del Raspberry Pi: Este comando descarga una carpeta cargada en github llamada pan-tilt-hat. En la figura 59 se muestra la ubicación de la carpeta extraída del github.
- Introducir el comando `[sudo python3 install.py]` en la terminal del Raspberry Pi: Este comando ejecuta un archivo .py, el cual instala todas las librerías necesarias para ejecutar el código del identificador de residuos correctamente.

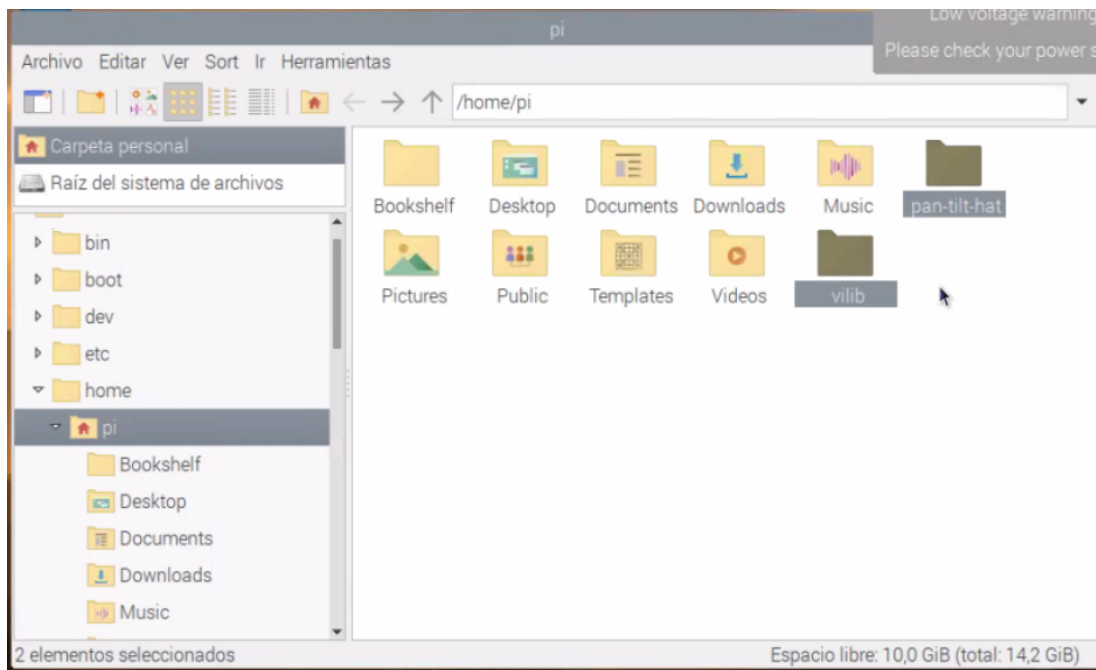


Figura 59. Ubicación de las carpetas pan-tilt-hat y vilib

Después de ejecutar los códigos del archivo install.py, la carpeta vilib apareció en la misma ruta, tal y como se muestra en la figura 59. Esta carpeta incluye las librerías necesarias para el correcto funcionamiento del identificador de residuos.

El código que se usó para habilitar el identificador de residuos es el mostrado en la figura 84 del anexo C.

VII. RESULTADOS

VII-A. Prueba del sistema de propulsión

Para verificar que la fuerza de empuje obtenida en cálculos y la elección de los propulsores fueron decisiones basadas en criterios válidos se realizaron pruebas en una pequeña piscina.

Las pruebas que se llevaron a cabo fueron exhaustivas con el dispositivo completamente ensamblado, incluyendo todos sus soportes y componentes. Una vez que se colocó el dispositivo sobre la superficie del agua, se pudo observar cómo flotaba sin ningún problema y se mantenía estable en todo momento.

Posteriormente, se procedió a encender los propulsores del USV para verificar su correcto funcionamiento. Durante esta fase de pruebas, no se detectó ningún inconveniente y los propulsores movieron el cuerpo del USV de manera eficiente y precisa.

Estos resultados se pueden apreciar en la figura 60, donde se muestra claramente el dispositivo flotando en el agua y moviéndose gracias al trabajo conjunto de sus propulsores.

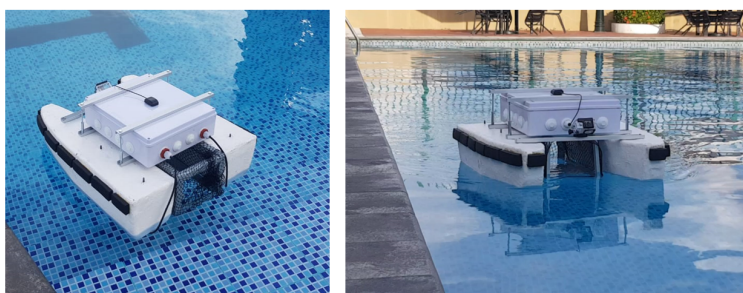


Figura 60. Prueba del sistema de propulsión

VII-B. Prueba de la recolección de residuos

Para llevar a cabo la función principal del dispositivo, que es la recolección de residuos, se utilizó el mismo sitio donde se llevaron a cabo las pruebas de empuje. Con el fin de garantizar una operación efectiva, se agregó una malla al depósito diseñado para que los desechos flotantes sean recolectados y almacenados en su interior.

Durante la prueba, se pudo observar cómo el dispositivo se desplazaba por la superficie del agua, recolectando los residuos flotantes a su paso gracias a la malla colocada en el depósito. Esta prueba se puede apreciar en la figura 61.

Cabe destacar que la adición de la malla al depósito fue una solución efectiva para garantizar la recolección de los residuos sin comprometer la capacidad de maniobra del dispositivo. Además, el diseño del depósito permite que los residuos sean almacenados de manera segura y eficiente, lo que facilita su posterior gestión y eliminación.

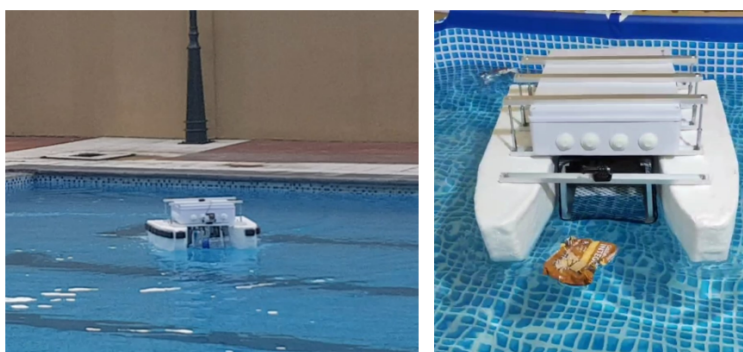


Figura 61. Prueba de recolección

VII-C. Prueba del sistema GPS

Los resultados obtenidos al realizar las pruebas con el código desarrollado fueron los esperados en cuanto a la lectura y registro posterior de las posiciones proporcionadas por el GPS.

En la figura 62, se ilustra cómo se obtenían los datos, supuestamente, en formato de coordenadas geográficas decimales. Es necesario mencionar que, aunque las coordenadas angulares pueden ser más precisas, se utilizó el formato decimal debido a su mayor practicidad y facilidad de uso en la mayoría de aplicaciones.

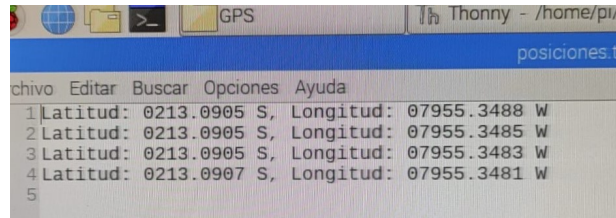


Figura 62. Documento donde se registran las coordenadas geográficas en formato decimal

Sin embargo, para poder utilizar las coordenadas decimales en el ambiente de Google Maps, fue necesario traducir los datos, ya que se mostraba un error. Es por esto que es importante destacar que, aunque Google Maps utiliza las mismas coordenadas que el GPS, el formato en que se presentan es diferente, por lo que se deben realizar conversiones antes de poder utilizar las coordenadas obtenidas.

Para no tener que hacer este paso de traducción, se cambió el código al mostrado en la figura 83 del anexo C. Aplicando el código los valores ya se muestran en coordenadas geográficas sexagesimales con formato de °, ' y '' (grados, minutos y segundo respectivamente) de las posiciones registradas en un lapso de 2 [s]. El formato de coordenadas geográficas se puede apreciar en la figura 63.

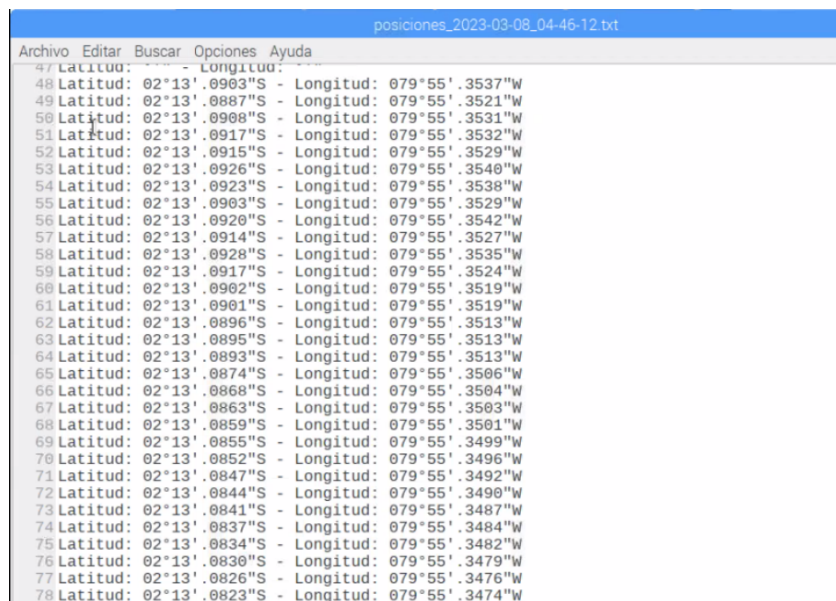


Figura 63. Coordenadas geográficas sexagesimales (°,')

En la figura se observan los resultados obtenidos, los cuales incluyen coordenadas precisas, pero previamente se presentaban valores vacíos. Esta situación se debía a que el módulo GPS no realizaba fix. Es importante que el GPS realice fix, ya que la precisión y exactitud de la posición calculada dependen del número de satélites GPS utilizados en el cálculo. Si el receptor GPS no recibe señales de suficientes satélites, la precisión de la posición calculada se verá comprometida, lo que puede generar errores en la navegación o en la recopilación de datos de posición.

VII-E. Implementación de los sistemas GPS y de identificación de residuos al USV

Una vez que se logró desarrollar y perfeccionar los sistemas de geolocalización e identificación de residuos, se procedió a implementarlos en el dispositivo a través de sistemas embebidos como el Raspberry Pi 3B y 3B+. Estos dispositivos, que cuentan con un procesador de alta velocidad y una gran capacidad de almacenamiento, son ideales para ejecutar aplicaciones de inteligencia artificial y procesamiento de datos en tiempo real. Al integrar estos sistemas en el dispositivo, se logró obtener información precisa sobre la ubicación y el tipo de residuos generados, lo que permitió mejorar significativamente la gestión de residuos y contribuir a la protección del medio ambiente.

Durante la implementación de la geolocalización, se hizo todo lo posible por recolectar datos precisos mediante los sistemas utilizados. Sin embargo, se encontraron algunos errores en este proceso. En el caso del GPS, se desarrolló un programa que fue ejecutado con éxito para obtener los datos necesarios. No obstante, al intentar mostrar estos datos, como trayectorias, en ambientes como Google Maps o Google Earth, no siempre se presentaban las ubicaciones deseadas con exactitud. Un ejemplo de esto se puede ver en la figura [66](#)

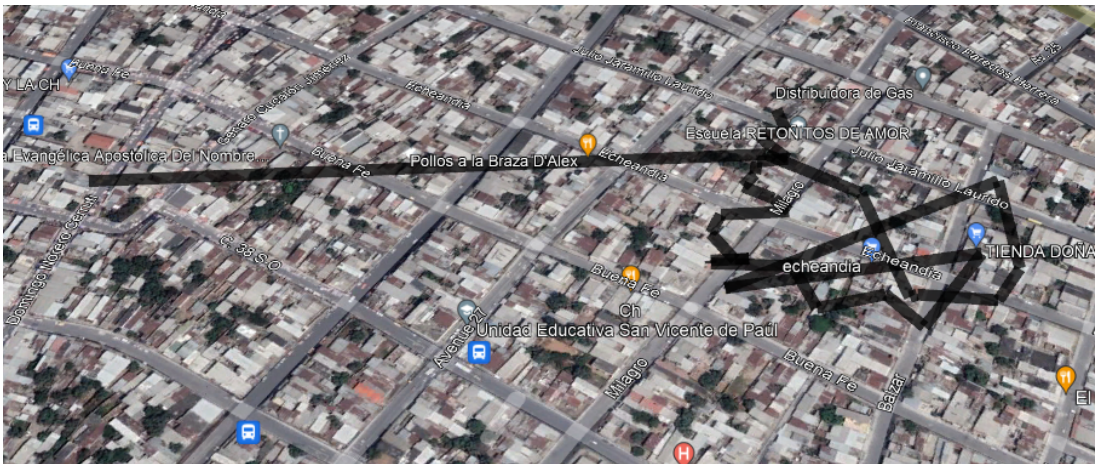


Figura 66. Trayectoria realizada en Google Earth

A pesar de las dificultades, se logró desarrollar un programa básico que permitió la detección visual de los objetos a través de la cámara, así como su correspondiente etiquetado. Aunque este método no fue tan detallado como se esperaba inicialmente, resultó útil para el propósito de identificar los residuos de manera general.

Para poder visualizar los desechos flotantes se requirió del uso de una laptop, la cual se ubico en la estación terrestre o la zona terrestre cerca del medio acuático.

Para poder realizar una conexión entre la laptop y el Raspberry se utilizó una aplicación llamada VNC (Virtual Network Computing), la cual permite conectarse a otro equipo de forma remota, lo que significa que la laptop pudo controlar el sistema embebido del dispositivo en tiempo real, como si estuviera físicamente conectada al Raspberry Pi. Esta conexión se realizó mediante Wi-Fi, que permitió la transmisión de los datos entre ambos dispositivos. De esta manera, se pudo visualizar en la laptop las imágenes de la cámara y el análisis de los desechos en tiempo real, lo que facilitó el proceso de recopilación de datos y el monitoreo del dispositivo en la superficie del agua.

VII-F. Análisis de datos recopilados por el GPS y el identificador de residuos para optimizar la gestión de residuos sólidos flotantes

Para el análisis de los datos obtenidos del GPS, se utilizo el archivo .txt de las posiciones generadas por el GPS, para importar los datos a un entorno mas agradable como lo es Excel y de esta manera generar una tabla con los datos recopilados. Para poder hacer esto se realizo una macros, cuyo código puede apreciarse en la figura [85](#) del anexo [C](#)

El formato que quedo de los datos importados a Excel se puede visualizar en la figura [67](#)

	A	B	C	D
1	Datos recolectados del GPS			
2	Fecha y Hora: 03/08/2023 05:55:02			
3	Latitud	Longitud		
4	02°13'.0903"S	079°55'.3537"W		
5	02°13'.0903"S	079°55'.3537"W		
6	02°13'.0903"S	079°55'.3537"W		
7	02°13'.0887"S	079°55'.3521"W		
8	02°13'.0908"S	079°55'.3531"W		
9	02°13'.0917"S	079°55'.3532"W		
10	02°13'.0915"S	079°55'.3529"W		
11	02°13'.0926"S	079°55'.3540"W		
12	02°13'.0923"S	079°55'.3538"W		
13	02°13'.0903"S	079°55'.3529"W		
14	02°13'.0920"S	079°55'.3542"W		
15	02°13'.0914"S	079°55'.3527"W		
16	02°13'.0928"S	079°55'.3535"W		
17	02°13'.0917"S	079°55'.3524"W		
18	02°13'.0902"S	079°55'.3519"W		
19	02°13'.0901"S	079°55'.3519"W		
20	02°13'.0896"S	079°55'.3513"W		
21	02°13'.0895"S	079°55'.3513"W		
22	02°13'.0893"S	079°55'.3513"W		

Figura 67. Coordenadas geográficas sexagesimales concatenadas en Excel

Con los datos obtenido se decidió realizar una trayectoria, la cual pudo ser creada con la ayuda de un formato de archivo llamado KML (Keyhole Markup Language), utilizado para representar datos geoespaciales. Además, este tipo de archivo es un formato estructurado compatible con el entorno de Google Earth. En la figura 68 se muestra como se representaron los datos con el fin de marcar una trayectoria.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
<Document>
  <name>Coordenadas</name>
  <description>Coordenadas para Google Earth</description>
  <Style id="yellowPoly">
    <LineStyle>
      <color>7f00ffff</color>
      <width>4</width>
    </LineStyle>
    <PolyStyle>
      <color>7f00ff00</color>
    </PolyStyle>
  </Style>
  <Placemark>
    <name>Coordenadas</name>
    <styleUrl>#yellowPoly</styleUrl>
    <LineString>
      <coordinates>
        -79.926435,-2.218372,0
        -79.926435,-2.218372,0
        -79.926435,-2.218372,0
        -79.922535,-2.218145,0
        -79.922027,-2.218467,0
        -79.921879,-2.219261,0
        -79.921835,-2.219241,0
        -79.921411,-2.219283,0
      </coordinates>
    </LineString>
  </Placemark>
</Document>
</kml>
```

Figura 68. Representación de coordenadas geográficas decimales con formato en kml

Durante la implementación del identificador de residuos, se presentaron diversos inconvenientes que obstaculizaron el proceso. Uno de los mayores problemas fue la incompatibilidad de algunas librerías necesarias para utilizar los códigos que permitían una identificación y etiquetado detallado de los objetos, según el modelo de aprendizaje automático utilizado.

El análisis de datos del identificador de residuos se llevó a cabo a través de la observación en tiempo real en vídeo desde una laptop con acceso a internet, que permitió su conexión con el sistema embebido mediante la aplicación VNC.

La laptop conectada al Raspberry a través del VNC se ilustra en la figura [69](#).

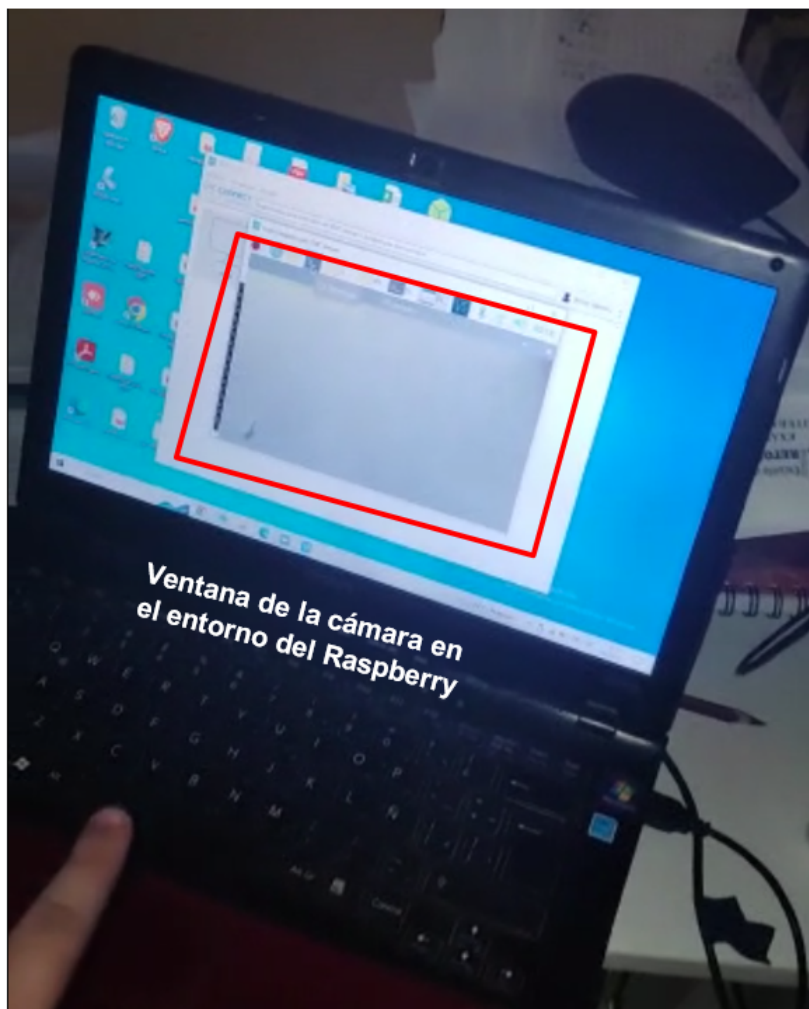


Figura 69. Conexión remota entre el Raspberry y la laptop

IX. PRESUPUESTO

A continuación se muestra el presupuesto del proyecto en la tabla XXVII.

Tabla XXVII
PRESUPUESTO DEL PROYECTO

NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
GPS	Adafruit Ultimate GPS Breakout (ADA746)	1	\$ 33,00	\$ 33,00
Antena	Antena para gps con su adaptado SMD-UFL	1	\$ 10,50	\$ 10,50
Cámara	Módulo de cámara Raspberry Pi	1	\$ 31,00	\$ 31,00
ESC	30A RC Brushless Motor ESC	2	\$ 17,00	\$ 34,00
Propulsores	Underwater Thruster 16V 300W Brushless Motor	2	\$ 53,00	\$ 106,00
Soporte de propulsor	Accesorio para brindar soporte	2	\$ 14,00	\$ 28,00
Regulador de voltaje	Diy more 20 A 300 W	4	\$ 9,50	\$ 38,00
Radio Control	Transmisor y receptor	1	\$ 58,00	\$ 58,00
Baterías	Turnigy 5000mAh 6S 25C Lipo Pack	2	\$ 69,00	\$ 138,00
Power bank	Power Bank TL-PB10400	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Sistema embebido	Raspberry Pi 3 Modelo B+	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Sistema embebido	Raspberry Pi 3 Modelo B	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Varilla	Hierro negro 1/4 [pulg]	1	\$ 25,00	\$ 25,00
EPS	Bloques de poliestireno expandido	1	\$ 74,00	\$ 74,00
Perfiles de aluminio	Perfiles de aleacion de aluminio 6063-T5	1	\$ 20,40	\$ 20,40
Fibra de vidrio	Fibra de vidrio tipo e	2	\$ 2,00	\$ 4,00
Resina	Resina mezcla, secante	1	\$ 22,00	\$ 22,00
Perno	Perno G2 1/4" (una docena con su tuerca hex)	2	\$ 4,00	\$ 8,00
Perno	Perno largo con tuerca de 1/4" (docena)	1	\$ 5,40	\$ 5,40
Tuerca	Rosca alta de 1/4" (docena)	1	\$ 5,50	\$ 5,50
Pegatanke	Pegamento epóxico	2	\$ 5,90	\$ 11,80
Cable flex	Flex de 30 cm	1	\$ 3,50	\$ 3,50
Prensaestopa	Prensaestopa	4	\$ 0,25	\$ 1,00
Reductores	Reductores de 1 1/2" a 1/2" y 1" a 1/2"	2	\$ 3,25	\$ 6,50
SUBTOTAL DISPOSITIVO				\$ 778,60
Mano de obra	Soldado y pulido de varillas de hierro negro	1	\$ 87,00	\$ 87,00
Mano de obra	Laminación de resina reforzada con fibra de vidrio	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Transporte	Transporte de elementos (local e internacional)		\$ 98,26	\$ 98,26
SUBTOTAL COSTOS LOGÍSTICOS				\$ 305,26
TOTAL				\$ 1.083,86
(SUBTOTAL DISPOSITIVO + SUBTOTAL COSTOS LOGÍSTICOS)				\$ 1.083,86

X. CONCLUSIONES

En conclusión, con la investigación realizada se logró diseñar un dispositivo que cumple con los parámetros de flotación, estabilidad y hermetismo requeridos para su correcto funcionamiento. Además, se demostró que el dispositivo proporciona una fuerza de empuje adecuada para desplazarse de manera efectiva en aguas lentas, lo que indica que se ha cumplido con los objetivos planteados en este proyecto.

Respecto a la recolección de residuos, el dispositivo no cuenta con un gran volumen de almacenamiento, como lo serían las embarcaciones usadas por la empresa "VISOLIT", sin embargo, éste puede abarcar una mayor cantidad de escenarios como zonas concurridas o de difícil acceso. Además, en la actualidad no hay muchas soluciones para la recolección de residuos en este tipo de zonas en donde es más difícil que intervengan operarios y equipos de limpieza.

Por último, al integrar sistemas de geolocalización e identificación de residuos, se logra un mayor nivel de eficiencia en la generación de datos sobre las áreas y los desechos que deben ser recolectados. El uso de estos sistemas también otorgan la capacidad al dispositivo de realizar futuras modificaciones en él, lo que le podría llevar a ser un vehículo autónomo.

XI. RECOMENDACIONES

Un factor clave para la mejora del dispositivo realizado es de mejorar su eficiencia, sobre todo en la recolección de residuos. Para ello se deben considerar varias opciones como: evaluar la posibilidad de aumentar el volumen de almacenamiento del dispositivo para que pueda cubrir una mayor cantidad de áreas. Asimismo, se puede explorar el uso de energía renovable, como paneles solares, para reducir su impacto ambiental y hacerlo más sostenible.

Además, es fundamental incorporar un sistema de comunicación bidireccional en el dispositivo, que permita enviar información en tiempo real sobre la ubicación del dispositivo y el estado de los residuos recogidos a un centro de control. De esta manera, se puede monitorear de manera efectiva la actividad del dispositivo y tomar decisiones informadas para mejorar su rendimiento.

Por último, es importante considerar que en cualquier proceso de mejora o implementación de nuevas tecnologías en el dispositivo, se realice un análisis económico detallado para evaluar la viabilidad del proyecto a gran escala y su rentabilidad a largo plazo. Esto permitirá tomar decisiones efectivas y evitar pérdidas de tiempo y recursos valiosos. Además, se deben considerar diferentes opciones de financiamiento y buscar oportunidades de colaboración con otras empresas o instituciones que puedan apoyar el proyecto.

REFERENCIAS

- [1] 4SAIL NAÚTICA. «Tipos y formas de casco de barcos.» s.f. (), dirección: <https://4sailnautica.com/tipos-y-formas-de-casco-de-barcos/> (visitado 08-01-2023).
- [2] Adafruit. «Sensors / Location / GPS.» s.f. (), dirección: <https://www.adafruit.com/category/58> (visitado 08-01-2023).
- [3] British Plastics Federation. «Expanded Polystyrene (EPS).» s.f. (), dirección: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/expanded-and-extruded-polystyrene-eps-xps.aspx#Packaging> (visitado 08-01-2023).
- [4] Diymore. «Step down module.» s.f. (), dirección: <https://www.diymore.cc/collections/step-down-module> (visitado 08-01-2023).
- [5] J. Escobar, *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. CEPAL, 2002. dirección: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6411>.
- [6] M. G. Fernández, «Vehículos no tripulados para utilización naval,» *ARMADA ESPAÑOLA*, vol. 2013, n.º 15, pág. 69, 2013. dirección: <https://publicaciones.defensa.gob.es/cuadernos-de-pensamiento-naval-15-revistas-pdf.html>.
- [7] E. J. Finnemore y J. B. Franzini, *Fluid mechanics with engineering applications*. McGraw-Hill Education, 2002. dirección: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780072432022>.
- [8] Flysky. «FS-i6.» s.f. (), dirección: <https://www.flysky-cn.com/i6-gaishu> (visitado 08-01-2023).
- [9] Geo-Matching. «USVs - Unmanned Surface Vehicles.» s.f. (), dirección: <https://geo-matching.com/usvs-unmanned-surface-vehicles> (visitado 08-09-2022).
- [10] J. González y A. Granados, *Mecánica de fluidos: teoría con aplicaciones y modelado*. Grupo Editorial Patria, 2017. dirección: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecau/ps/titulos/40497/>.
- [11] Gudmundsson, Ari, «Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños,» 2009. dirección: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/c0ef2830-cfa6-547a-8010-1e97fa0951f5> (visitado 08-01-2023).
- [12] T. Halme, «How to dimension a sailing catamaran,» 2008. dirección: https://www.academia.edu/42633251/HOW_TO_DIMENSION_A_SAILING_CATAMARAN.
- [13] Hawk hobby. «Underwater Thruster 16V 300W Brushless Motor with CCW 3-Blade Nylon Propeller for RC Bait Tug Boat Nest Ship Submarine.» s.f. (), dirección: <https://www.amazon.com/HAWK-HOBBY-60mm-Underwater-Thruster/dp/B08CK3J1GY> (visitado 08-01-2023).
- [14] Hobbyking. «Batteries / Chargers.» s.f. (), dirección: https://hobbyking.com/en_us/batteries-chargers.html (visitado 08-01-2023).
- [15] IFR. «WR 2021 Service Robots - Sources & Methods.» (2021), dirección: <https://ifr.org/free-downloads/> (visitado 05-09-2022).
- [16] ISO. «ISO 8373:2021(en).» (2021), dirección: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en> (visitado 05-09-2022).
- [17] Kefren. «Aleación de aluminio 6063-T5. Material empleado para la fabricación de perfiles de aluminio.» (2020), dirección: <https://grupokefren.com/materiales/metales/aleacion-de-aluminio-6063/> (visitado 08-01-2023).
- [18] H. O. Kristensen y M. Lützen, «Prediction of resistance and propulsion power of ships,» *Clean Shipping Currents*, vol. 1, n.º 6, págs. 1-52, 2012. dirección: <https://www.academia.edu/download/52313122/wp-2-report-4-resistance-and-propulsion-power.pdf>.
- [19] L. Lebreton, J. Van Der Zwet, J.-W. Damsteeg, B. Slat, A. Andrady y J. Reisser, «River plastic emissions to the world's oceans,» *Nature communications*, vol. 8, n.º 1, págs. 1-10, 2017. dirección: <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>.
- [20] Z. Liu, Y. Zhang, X. Yu y C. Yuan, «Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges,» *Annual Reviews in Control*, vol. 41, págs. 71-93, 2016. dirección: <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>.
- [21] Mapfre. «Distintos tipos de embarcaciones.» s.f. (), dirección: <https://www.mapfre.es/particulares/seguros-viaje/articulos/tipos-de-embarcaciones/> (visitado 08-01-2023).

- [22] A. Matos, E. Silva, J. Almeida y col., «Unmanned maritime systems for search and rescue,» *Search and Rescue Robotics-From Theory to Practice*, págs. 77-92, 2017. dirección: <https://doi.org/10.5772/intechopen.69492>.
- [23] A. C. Montesdeoca Stacey y A. V. Granja Sánchez, «Análisis del impacto socioambiental en las playas del Ecuador, mediante la creación de una empresa de servicios para limpieza de playas,» B.S. thesis, QUITO/UIDE/2013, 2014. dirección: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/35>.
- [24] C. Morales-Caselles, J. Viejo, E. Martí y col., «An inshore-offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter,» *Nature Sustainability*, vol. 4, n.º 6, págs. 484-493, 2021. dirección: <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00720-8>.
- [25] A. Mosquera y C. Deluque, *Fundamentos de mecánica de fluidos: con ejercicios parcialmente resueltos*. Editorial Unimagdalena, 2021. dirección: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/222311>.
- [26] Novelec. «Estándares de protección IP y NEMA – Guía práctica.» (2018), dirección: <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/estandares-de-proteccion-ip-y-nema-guia-practica/> (visitado 08-09-2022).
- [27] ONNautic. «¿Cuáles son las partes de un barco?» (2020), dirección: <https://onnautic.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-barco/> (visitado 08-01-2023).
- [28] Ranmarine. «The Wasteshark.» s.f. (), dirección: <https://www.ranmarine.io/products/wasteshark-3/> (visitado 08-01-2023).
- [29] Raspberry Pi. «Products.» s.f. (), dirección: <https://www.raspberrypi.com/products/> (visitado 08-01-2023).
- [30] RCElectricParts, *ESC user guide*, s.f. dirección: <https://www.rcelectricparts.com/esc-user-guide.html> (visitado 08-01-2023).
- [31] Ruta 401. «¿Qué es la estanqueidad y cómo se mide?» s.f. (), dirección: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/que-es-la-estanqueidad-y-como-se-mide> (visitado 08-09-2022).
- [32] Sunfounder. «Image Classification.» s.f. (), dirección: https://docs.sunfounder.com/projects/pan-tilt-hat/en/latest/python/python_image_classification.html (visitado 08-01-2023).
- [33] The Ocean Cleanup. «Interceptor original.» s.f. (), dirección: <https://theoceancleanup.com/rivers/> (visitado 08-01-2023).
- [34] Torres, Manuel. «El proceso de data science: Modelos de aprendizaje automático en acción.» (2019), dirección: <https://www.techedgegroup.com/es/blog/proceso-data-science-modelos-aprendizaje-automatico-accion> (visitado 08-01-2023).
- [35] Weather spark. «El clima y el tiempo promedio en todo el año en Guayaquil Ecuador.» s.f. (), dirección: <https://es.weatherspark.com/y/19346/Clima-promedio-en-Guayaquil-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o> (visitado 08-01-2023).
- [36] P. Yedamale, «Brushless DC (BLDC) motor fundamentals,» *Microchip Technology Inc*, vol. 20, n.º 1, págs. 3-15, 2003. dirección: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00885a.pdf>.

APÉNDICE A
PLANOS

Planos de las piezas acotadas en Solidworks 2022:

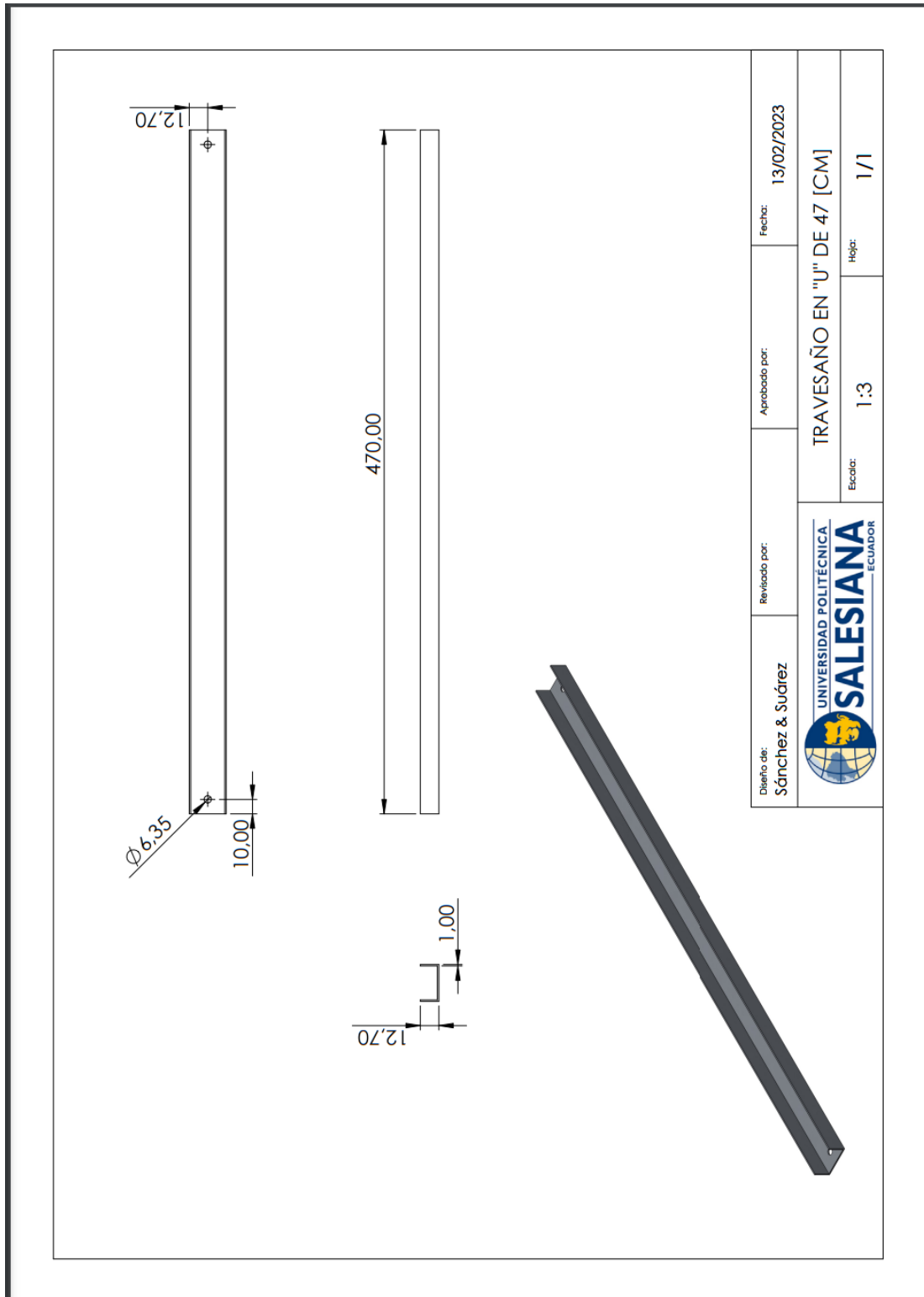


Figura 70. Lámina acotada del travesaño en «U» de 470 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks

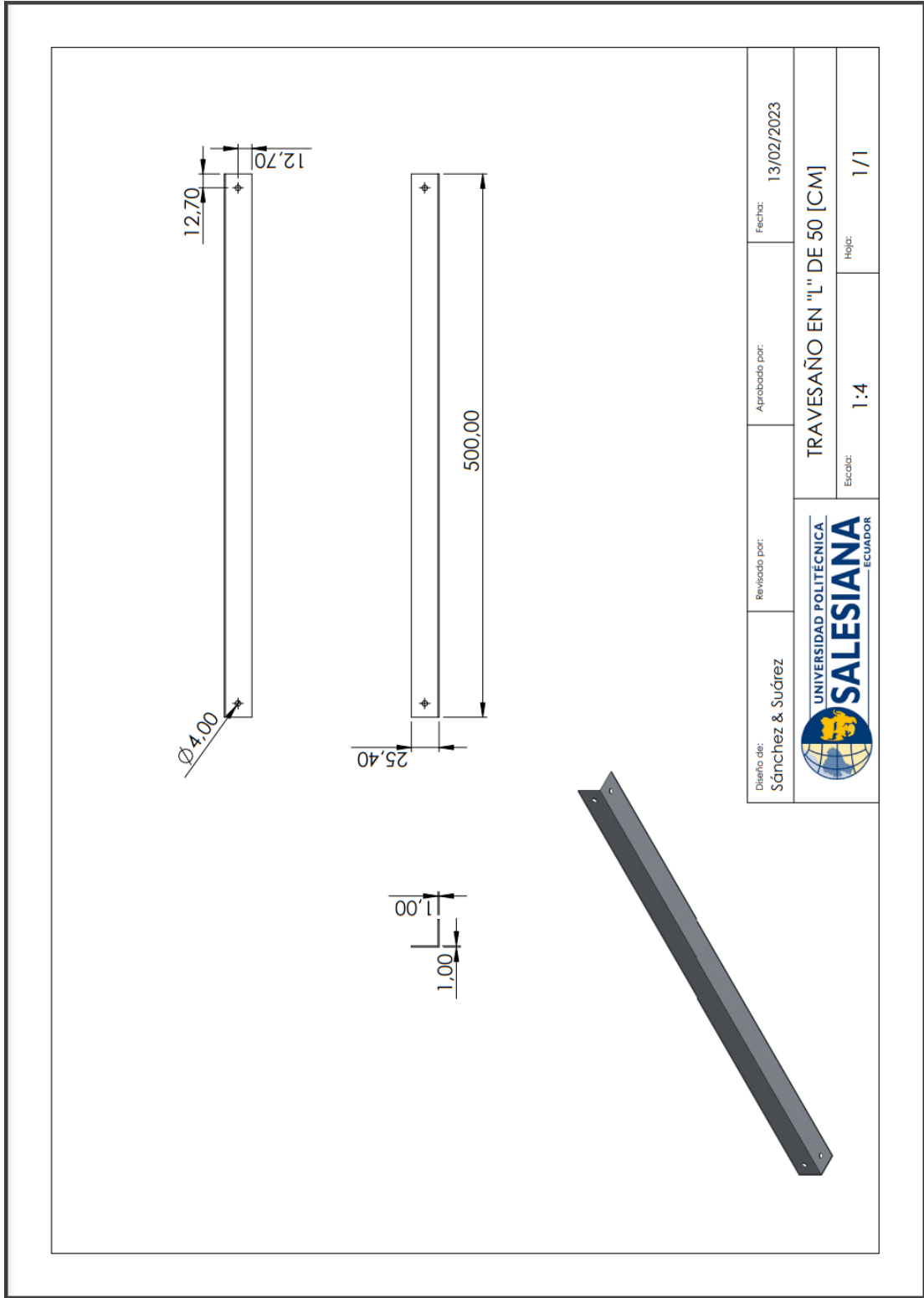


Figura 71. Lámina acotada del travesano en «L» de 500 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks

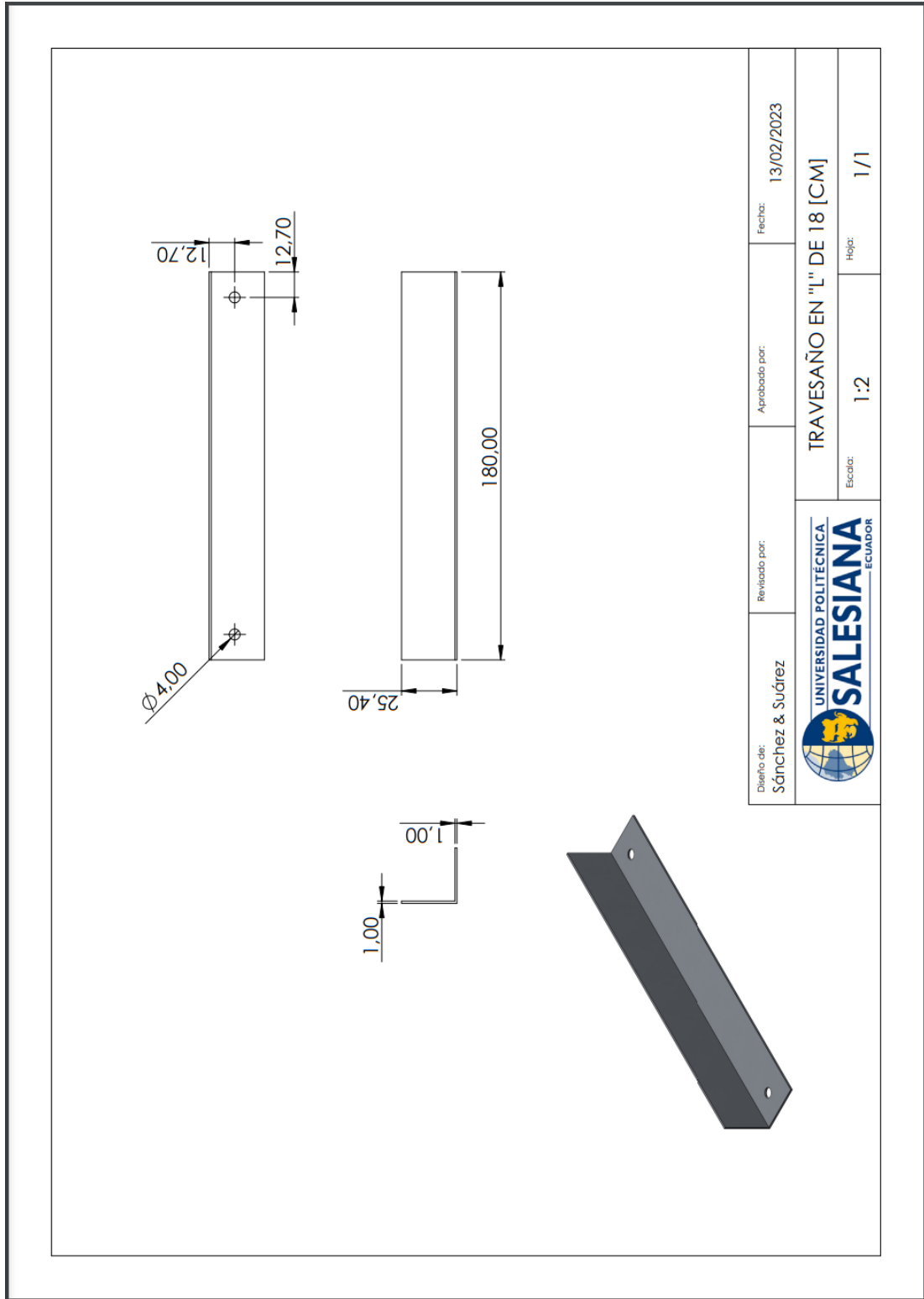


Figura 72. Lámina acotada del travesaño en «L» de 180 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks

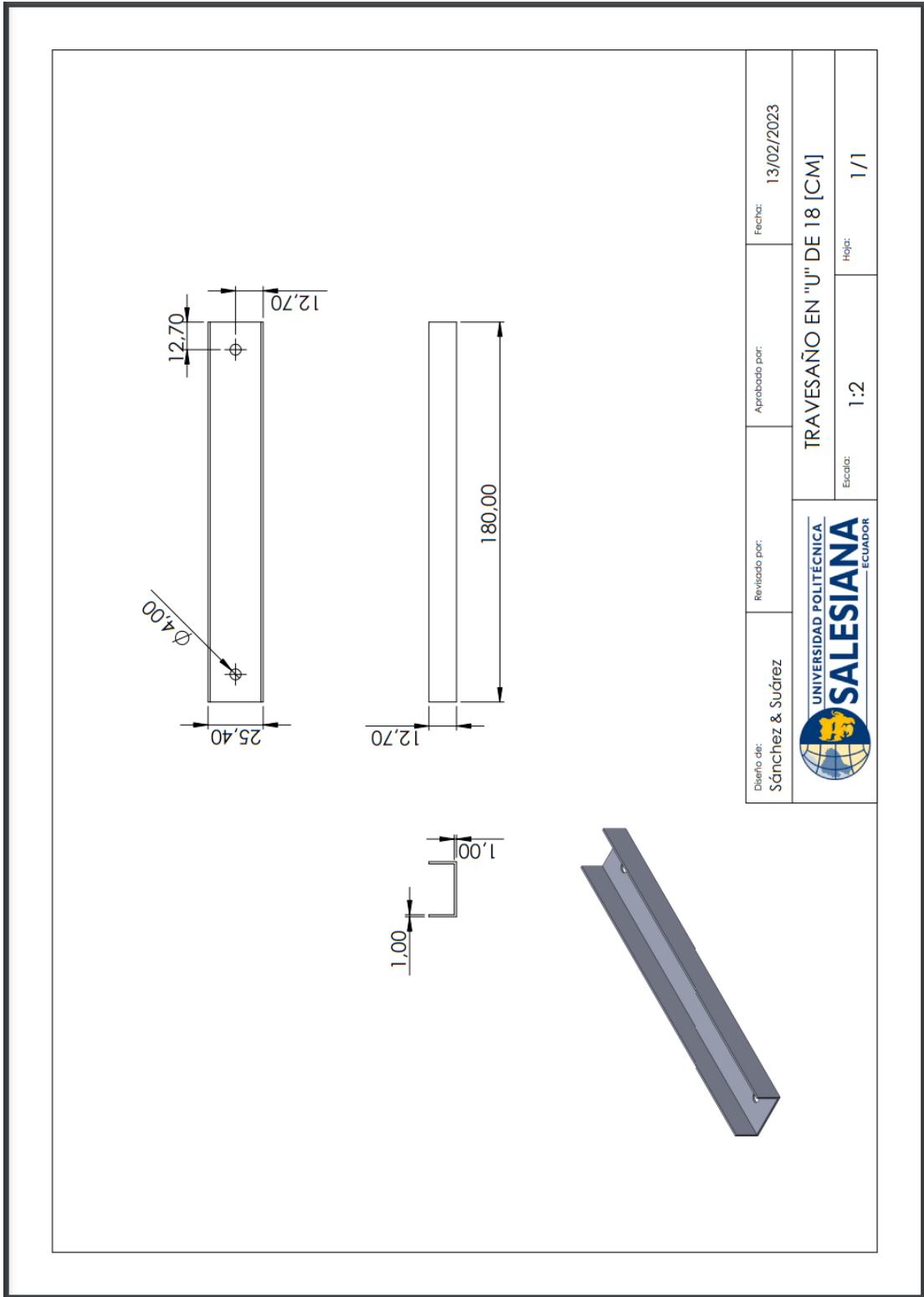


Figura 73. Lámina acotada del travesaño en «U» de 180 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks

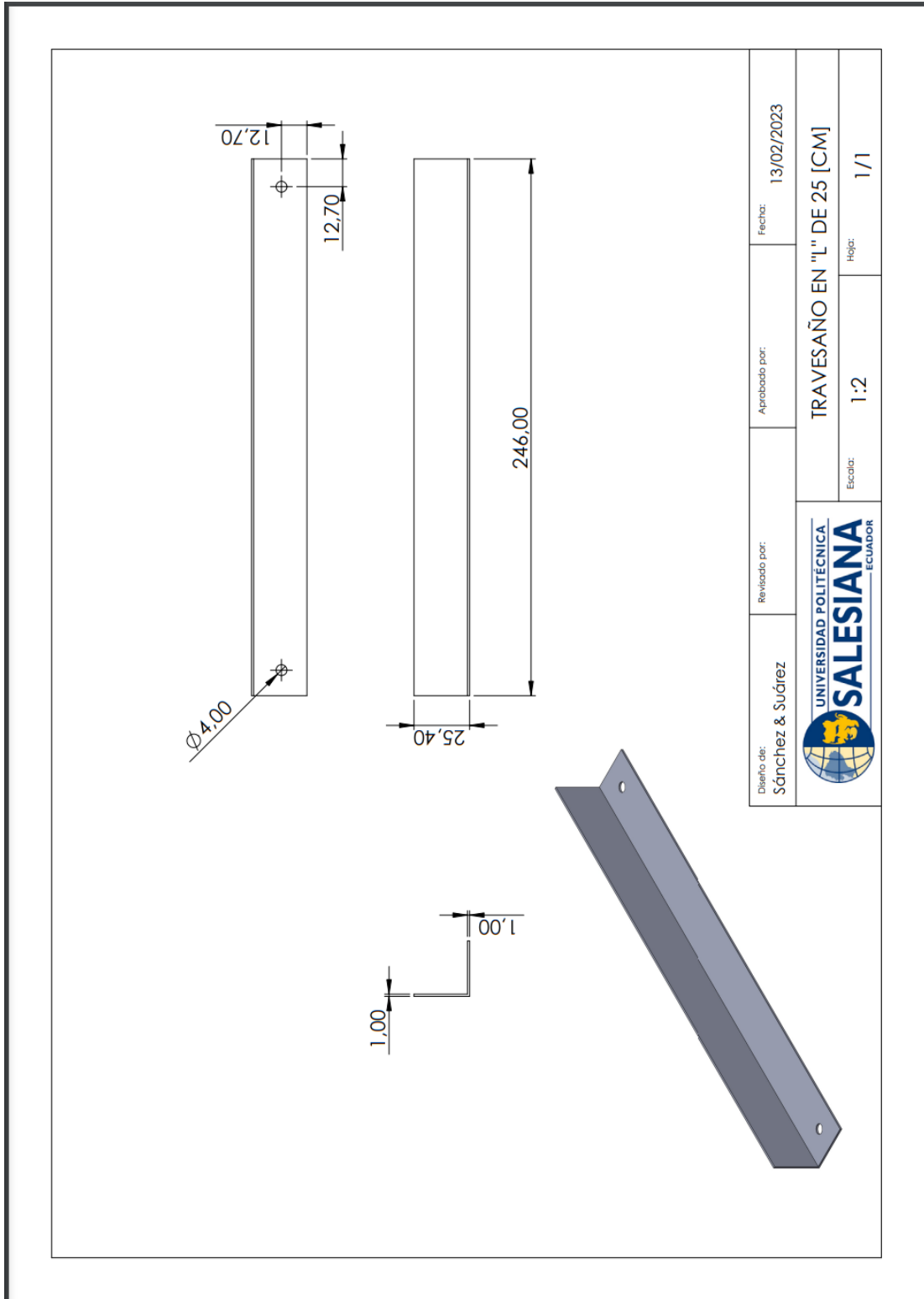


Figura 74. Lámina acotada del travesaño en «L» de 250 [mm], por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks

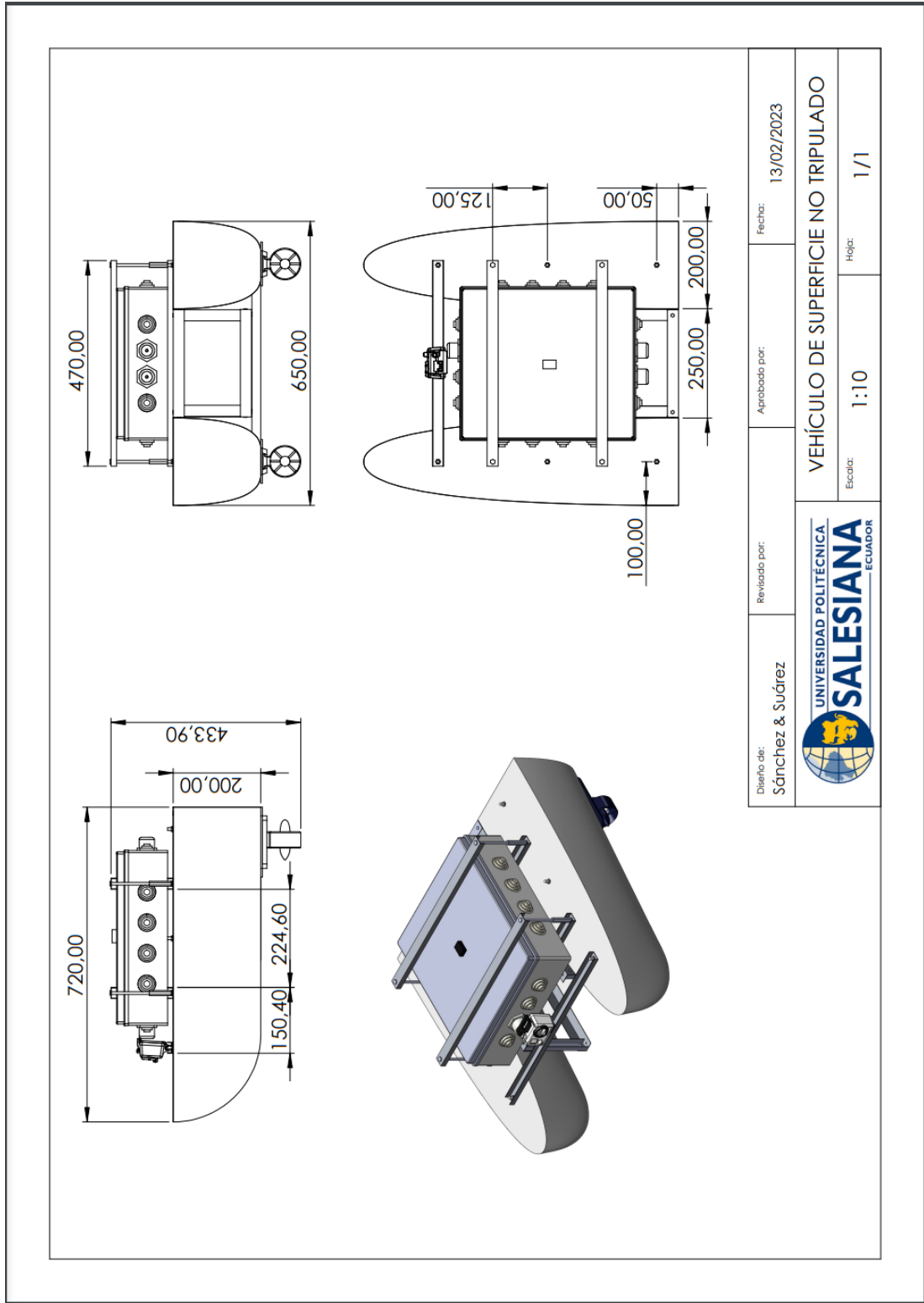


Figura 75. Lámina acotada del USV, por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks

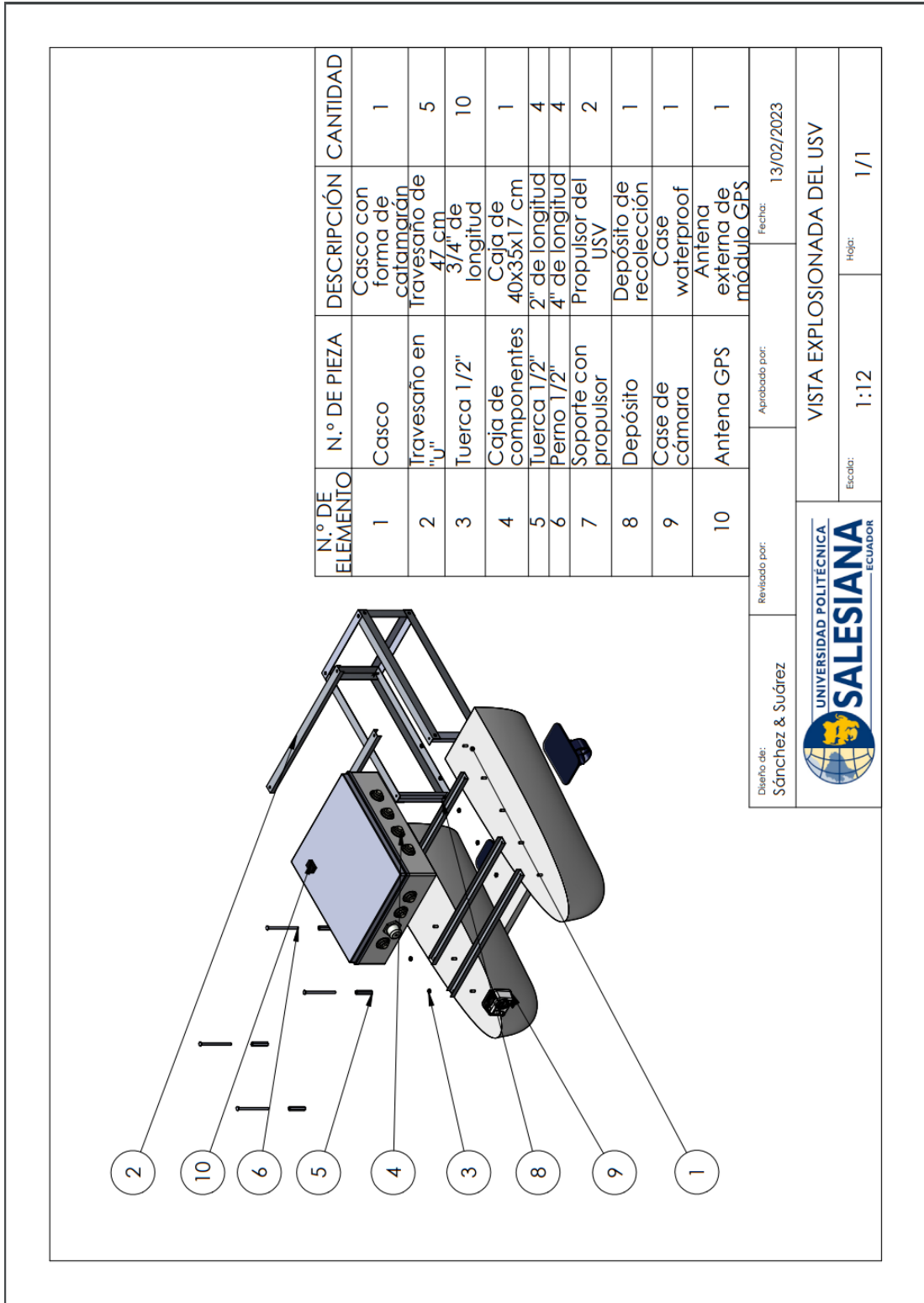


Figura 76. Lámina del plano explosionado del USV con su lista de macro componentes, por A. Sánchez y L. Suárez, Solidworks

APÉNDICE B
EQUIPOS DE MANUFACTURA



Figura 79. Máquina de soldar Inverter



Figura 80. Pulidora



Figura 82. Amoladora

APÉNDICE C PROGRAMACIÓN

Códigos usados para la programación de los sistemas en Thonny (Python):

```
gps.py *%  
1 import RPi.GPIO as GPIO  
2 import serial  
3 import time  
4 import datetime  
5  
6 GPIO.setwarnings(False)  
7 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)  
8  
9 # Configurar la conexión serial  
10 ser = serial.Serial('/dev/serial0', 9600, timeout=1)  
11  
12 # Obtener la fecha y hora actual  
13 now = datetime.datetime.now()  
14 filename = "posiciones_{}.txt".format(now.strftime("%Y-%m-%d_%H-%M-%S"))  
15  
16 # Abrir el archivo de texto para guardar las posiciones  
17 f = open(filename, "w")  
18  
19 # Leer los datos del GPS y guardar la posición cada 2 segundos  
20 while True:  
21     try:  
22         # Leer una línea de datos desde el GPS  
23         line = ser.readline().decode('utf-8')  
24  
25         # Comprobar si la línea de datos contiene la posición actual  
26         if line.startswith('$GPGGA'):  
27             data = line.split(',')  
28             lat = data[2]  
29             lat_dir = data[3]  
30             lon = data[4]  
31             lon_dir = data[5]  
32  
33             lat_formatted = "{0}°{1}'{2}\"{3}".format(lat[:2], lat[2:4], lat[4:], lat_dir)  
34             lon_formatted = "{0}°{1}'{2}\"{3}".format(lon[:3], lon[3:5], lon[5:], lon_dir)  
35  
36  
37             |  
38             # Escribir la posición en el archivo de texto  
39             f.write("Latitud: {0} - Longitud: {1}\n".format(lat_formatted, lon_formatted))  
40             f.flush()  
41             print("Posición guardada en el archivo.")  
42  
43             # Esperar 2 segundos antes de leer la siguiente línea de datos  
44             time.sleep(2)  
45  
46         except KeyboardInterrupt:  
47             # Si se presiona Ctrl+C, cerrar el archivo de texto y la conexión serial  
48             f.close()  
49             ser.close()  
50             break
```

Figura 83. Código [gps.py] para registrar la trayectoria del dispositivo, por A. Sánchez y L. Suárez, Thonny

```
1 #!/usr/bin/env python3
2 from vilib import Vilib
3
4 def main():
5     Vilib.camera_start(vflip=False,hflip=True)
6     Vilib.display(local=True,web=True)
7     Vilib.image_classify_set_model(path='/home/pi/pan-tilt-hat/models/model.tflite')
8     Vilib.image_classify_set_labels(path='/home/pi/pan-tilt-hat/models/labels.txt')
9     Vilib.image_classify_switch(True)
10
11 if __name__ == "__main__":
12     main()
```

Python 3.7.3

Figura 84. Código [image_classification.py] para detectar desechos flotantes, Thonny [32]

Código usado para la programación en Excel de una macros usando Microsoft Visual Basic para Aplicaciones:

```
Sub ImportarDatos()  
    ' Definir variables  
    Dim Archivo As String  
    Dim FechaHora As String  
    Dim UltimaFila As Long  
    Dim Linea As String  
    Dim Latitud As String  
    Dim Longitud As String  
  
    ' Obtener nombre del archivo y fecha/hora  
    Archivo = Application.GetOpenFilename("archivo (*.txt),*.txt")  
    FechaHora = Format(FileDateTime(Archivo), "mm/dd/yyyy hh:mm:ss")  
  
    ' Abrir archivo de texto  
    Open Archivo For Input As #1  
  
    ' Agregar título y subtítulos a la tabla  
    ActiveSheet.Range("A1").HorizontalAlignment = xlLeft  
    ActiveSheet.Range("A1:B1").MergeCells = False  
    ActiveSheet.Range("A1:B1").Value = "Datos recolectados del GPS"  
    ActiveSheet.Range("A1:B1").MergeCells = True  
    ActiveSheet.Range("B1").HorizontalAlignment = xlLeft  
    ActiveSheet.Range("A2:B2").MergeCells = False  
    ActiveSheet.Range("A2").Value = "Fecha y Hora: " & FechaHora  
    ActiveSheet.Range("A2:B2").MergeCells = True  
    ActiveSheet.Range("A2").HorizontalAlignment = xlLeft  
    ActiveSheet.Range("A3").Value = "Latitud"  
    ActiveSheet.Range("B3").Value = "Longitud"  
  
    ' Iniciar en la tercera fila  
    UltimaFila = 4  
  
    ' Leer archivo de texto línea por línea  
    Do While Not EOF(1)  
        Line Input #1, Linea  
  
        ' Verificar si la línea contiene datos de latitud y longitud  
        If InStr(1, Linea, "Latitud:") > 0 And InStr(1, Linea, "Longitud:") > 0 Then  
  
            ' Extraer latitud de la línea y convertirla a tipo Decimal  
            Latitud = Mid(Linea, InStr(1, Linea, "Latitud:") + 8, InStr(1, Linea, "Longitud:") - InStr(1, Linea, "Latitud:") - 8)  
            Latitud = Replace(Latitud, ",", ".")  
  
            ' Extraer longitud de la línea y convertirla a tipo Decimal  
            Longitud = Trim(Right(Linea, Len(Linea) - InStr(1, Linea, "Longitud:") - 8))  
            Longitud = Replace(Longitud, ",", ".")  
  
            ' Agregar datos a la tabla  
            ActiveSheet.Range("A" & UltimaFila).Value = Latitud  
            ActiveSheet.Range("B" & UltimaFila).Value = Longitud  
  
            ' Moverse a la siguiente fila  
            UltimaFila = UltimaFila + 1  
  
        End If  
    Loop  
  
    ' Ajustar el ancho de las columnas  
    ActiveSheet.Columns("A:B").AutoFit  
  
    ' Cerrar archivo de texto  
    Close #1  
End Sub
```

Figura 85. Código para importar datos de los archivos generados por el sistema de geolocalización, por A. Sánchez y L. Suárez, Microsoft Visual Basic para Aplicaciones