



**Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)**

**ESIT**

**Máster Universitario en Industria 4.0**

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

**Trabajo Fin de Máster**

**presentado por:** Cabas Torres, Daniel Alberto

**Director:** Coco, Luis

## Resumen

Este proyecto de investigación busca el diseño y la construcción de un USV (Unmanned surface vehicle – vehículo de superficie no tripulado) para el reconocimiento y geoposicionamiento de residuos sólidos flotantes en mares, lagunas naturales y artificiales, haciendo uso de hardware y software libre para la captación de los datos y la posterior descarga de información a una base de datos. Se integrarán tecnologías de industria 4.0 tales como reconocimiento de imágenes, tratamiento de datos, comunicaciones inalámbricas para el envío de datos y el posterior análisis de los resultados en la investigación y conformación de una base de datos que permita conocer los lugares más afectados por la contaminación marina. Como resultado, se espera obtener un prototipo liviano de bajo coste totalmente funcional para la operación en campo por parte de personas expertas e inexpertas en el tema.

**Palabras Clave:** USV, Residuos Sólidos, Reconocimiento de Imágenes, Big Data, Industria 4.0.

## Abstract

This research project seeks the design and construction of a USV (Unmanned surface vehicle - unmanned surface vehicle) for the recognition and geo-positioning of floating solid waste in seas, natural and artificial lagoons, making use of hardware and free software for the capture of data and the subsequent downloading of information to a database. Industry 4.0 technologies will be integrated, such as image recognition, data processing, wireless communications for the analysis of research results and the creation of a database that will allow to know the places most affected by marine pollution. As a result, it is expected to obtain a fully functional low-cost light prototype for field operation by expert and inexperienced people in the field.

**Keywords:** USV, Solid Waste, Industry 4.0, Big Data, Image Recognition.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero darle las gracias a Dios primeramente porque es el dueño de todo conocimiento y es el ser dador de sabiduría. Gracias a Él por permitirme disfrutar y aprender en cada paso de mi máster y por permitirme ser perseverante en mis actividades.

Margarita, madre, gracias por ser una mujer implacable y apoyarme en todo momento con mis estudios y por enseñarme a ser disciplinado no solo en mis estudios sino en la vida. Sin ti esto no hubiera sido posible. Estaré agradecido por siempre contigo. Te quiero.

Gracias a mi padre, Alberto, por enseñarme cosas útiles para la vida y por estar siempre para ayudarme a solucionar mis problemas. Dios no me pudo dar un mejor padre.

Gracias a mis hermanos Mario y Juan por su apoyo incondicional y por su admiración hacia mí. Siempre los recuerdo cuando emprendo proyectos nuevos y trato de hacer las cosas con excelencia para que ustedes me superen y logren cosas mejores. Los quiero mucho a todos.

## Índice de contenido

|   |    |
|---|----|
| Tablas .....  | 9  |
| 1 Introducción .....  | 2  |
| 2 Contexto y estado del arte .....  | 5  |
| 3 Objetivos concretos y metodología de trabajo.....                                     | 12 |
| 3.1    Objetivo general .....   | 12 |
| 3.2    Objetivos específicos .....  | 12 |
| 3.3    Metodología de trabajo .....   | 12 |
| 3.4    Alcance y limitaciones.....  | 13 |
| 3.5    Tecnologías implicadas: .....  | 14 |
| 3.5.1    Sistema RF: .....  | 14 |
| 3.5.2    Sistema de dirección: .....  | 15 |
| 3.5.3    Sistema de propulsión: .....   | 16 |
| 3.5.4    Alimentación. ....   | 17 |
| 3.5.5    Sistema FPV: .....   | 18 |
| 3.5.6    Arquitectura, componentes e integración de tecnologías.....                    | 19 |
| 3.6    Resultados esperados. ....   | 23 |
| 3.7    Presupuesto de la investigación. ....  | 23 |
| 3.8    Planificación general.....   | 24 |
| 4 Desarrollo específico de la contribución del TFM.....                                 | 25 |
| 4.1    Diseño del prototipo y simulación de las piezas con el software SolidWorks ..... | 25 |
| 4.2    Fabricación del prototipo.....   | 42 |
| 5 Conclusiones y trabajo futuro.....  | 59 |
| 6 Referencias.....  | 62 |

## Lista de ilustraciones

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1. Residuos sólidos flotantes .....  | 2  |
| Ilustración 2. Vehículo de superficie autónomo británico para defensa .....                  | 3  |
| Ilustración 3. Impresora 3D Prusa i3 MKII [12] .....   | 4  |
| Ilustración 4. DIseno CAD (Arriba) y pieza cortada a láser (Abajo) [13]. .....               | 5  |
| Ilustración 5. USV WasteShark de la empresa RanMarine [18].....                              | 6  |
| Ilustración 6. Spotter funcionando en el agua [22].....                                      | 7  |
| Ilustración 7. Ocean Cleanup System 001 [24].....  | 8  |
| Ilustración 8. Ocean Cleanup System desplegado en el mar en forma de U [24] .....            | 8  |
| Ilustración 9. Tarjeta RaspberryPi 3 Model B+ [5] .....                                      | 10 |
| Ilustración 10. GPS de la empresa U-blox NEO 6-m [28].....                                   | 11 |
| Ilustración 11. Cámara para Raspberry de 5MP [29] .....                                      | 12 |
| Ilustración 12. Radiocontrol FlySky FS-i6 [31] .....   | 15 |
| Ilustración 13. Servomotor TowerPro MG-995 [33] .....  | 16 |
| Ilustración 14. Motor brushless Turnigy 2826 - 2200KV [34].....                              | 17 |
| Ilustración 15. Batería LiPO 3s - 2.2Ah [34].....  | 17 |
| Ilustración 16. Baterías Li-ion 18650 [37].....  | 18 |
| Ilustración 17. Sistema FPV transmisor de video (cámara y antena) [41] .....                 | 19 |
| Ilustración 18. Sistema FPV receptor (gafas google - marca Eachine) [42] .....               | 19 |
| Ilustración 19. Módulo regulador de voltaje LM2596 [43] .....                                | 21 |
| Ilustración 20. Arquitectura para el reconocimiento y geoposicionamiento de objetos del USV. |    |
| .....  | 21 |
| Ilustración 21. Arquitectura de componentes instalados en el USV .....                       | 22 |
| Ilustración 22. Ensamble de cuadernas principales del USV.....                               | 25 |
| Ilustración 23. Cuaderna principal vertical. ....  | 26 |
| Ilustración 24. Cuaderna principal horizontal .....  | 26 |
| Ilustración 25. Cuaderna derecha vertical externa del USV .....                              | 27 |
| Ilustración 26. Cuaderna horizontal trasera del USV.....                                     | 27 |
| Ilustración 27. Diseño de cuaderna vertical izquierda externa .....                          | 27 |
| Ilustración 28. Ensamble de cuadernas principales y externas.....                            | 28 |
| Ilustración 29. Piezas principales del USV ordenadas por tamaño.....                         | 28 |
| Ilustración 30. Medidas de viga interna.....   | 29 |
| Ilustración 31. Imagen tridimensional de la viga interna.....                                | 29 |
| Ilustración 32. Vigas internas acopladas a la cuaderna principal vertical. ....              | 30 |
| Ilustración 33. Superficie superior del USV (3mm de espesor).....                            | 30 |
| Ilustración 34. Superficie inferior del USV (3mm de espesor).....                            | 31 |

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 35. Vista en perspectiva de la base del sistema de propulsión.....   | 32 |
| Ilustración 36. Vista superior de la base del sistema de propulsión.....   | 32 |
| Ilustración 37. Ensamble de servomotor a la base del sistema de propulsión. ....   | 33 |
| Ilustración 38. Dimensiones de los soportes verticales del sistema de propulsión. ....   | 34 |
| Ilustración 39. Modelo 3D de los soportes verticales del sistema de propulsión. ....   | 35 |
| Ilustración 40. Ensamble de la base para el sistema de propulsión. ....  | 35 |
| Ilustración 41. Orificios de los soportes verticales y la base del sistema de propulsión alineados.....  | 36 |
| Ilustración 42. Base para motor brushless - orificios para varillas tornadas. ....   | 36 |
| Ilustración 43. Ángulo para el acople con los soportes verticales del sistema de propulsión.   | 37 |
| Ilustración 44. Dimensiones de los orificios para el acople del motor brushless. ....  | 37 |
| Ilustración 45. Dimensiones del motor brushless Turnigy 2826 [46]. ....  | 37 |
| Ilustración 46. Ensamble de piezas para el sistema de propulsión.....  | 38 |
| Ilustración 47. Ensamble completo del sistema de propulsión. ....  | 38 |
| Ilustración 48. Sistema de propulsión ajustado a las vigas internas del USV.....   | 39 |
| Ilustración 49. Imagen frontal del acople de las vigas internas con el sistema de propulsión.  | 40 |
| Ilustración 50. Render del USV con la estructura semifinalizada (los colores de los objetos fueron cambiados para poder visualizar mejor el ensamblaje de estos). .... | 40 |
| Ilustración 51. Pieza estabilizadora para los soportes verticales del sistema de propulsión. ....  | 41 |
| Ilustración 52. Render del USV finalizado.....   | 42 |
| Ilustración 53. Láminas de madera balsa [48]. ....   | 42 |
| Ilustración 54. Fabricación de la superficie flotante del USV en madera. ....  | 43 |
| Ilustración 55. Preparación de la base del sistema de propulsión para impresión 3D. ....   | 44 |
| Ilustración 56. Relleno interno de la base para el sistema de propulsión. ....   | 44 |
| Ilustración 57. Impresión 3D de la base del sistema de propulsión. ....  | 45 |
| Ilustración 58. Preparación del modelo 3D de la base del motor para la impresión 3D. ....  | 46 |
| Ilustración 59. Base del motor preparada para la impresión 3D. ....  | 46 |
| Ilustración 60. Proceso de impresión 3D de la base para el motor.....  | 47 |
| Ilustración 61. Preparación de las vigas internas para impresión 3D. ....  | 47 |
| Ilustración 62. Piezas preparadas para impresión 3D. ....  | 48 |
| Ilustración 63. Viga interna fabricada. ....   | 48 |
| Ilustración 64. Ensamble de las vigas internas a la cuaderna principal del USV. ....   | 49 |
| Ilustración 65. Barniz amarillo y forraje del USV con papel adhesivo vinilo de color rojo. ....  | 49 |
| Ilustración 66. Ensamble de la base del sistema de propulsión con el servomotor TowerPRO MG995 .....   | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 67. Ensamble del sistema de propulsión semicompleto.....   | 50 |
| Ilustración 68. Ensamble del sistema de propulsión completado.....   | 51 |
| Ilustración 69. USV con sistema electrónico de propulsión y sistema de propulsión ensamblado. ....   | 51 |
| Ilustración 70. Partes del sistema de propulsión para el direccionamiento del viento.....  | 52 |
| Ilustración 71. Vista trasera del USV totalmente ensamblado. ....  | 52 |
| Ilustración 72. Sistema de propulsión del USV direccionando el viento hacia la derecha. ....   | 53 |
| Ilustración 73. Soporte direccional del alerón derecho.....  | 53 |
| Ilustración 74. Diseño del soporte direccional. ....   | 54 |
| Ilustración 75. Soportes direccionales preparados para impresión 3D. ....  | 54 |
| Ilustración 76. Estuche hermético plástico contenedor de los componentes del sistema de reconocimiento y el sistema de transmisión de video en tiempo real. .... | 55 |
| Ilustración 77. Instalación del GPS y su antena en la parte interna de la tapa del contenedor.   |    |
| .....  | 56 |
| Ilustración 78. Ensamble de dispositivos para los sistemas de reconocimiento y FPV.....  | 56 |
| Ilustración 79. Ensamble y orificios de dispositivos del USV. ....   | 57 |
| Ilustración 80. Cámara instalada para el sistema FPV.....  | 57 |
| Ilustración 81. Imagen 3D - Soporte para contenedor plástico. ....   | 58 |
| Ilustración 82. Preparación del archivo STL del objeto 3D.....   | 58 |
| Ilustración 83. Simulación del proceso 3D del soporte para contenedor. ....  | 59 |
| Ilustración 84. USV completamente ensamblado. ....   | 60 |
| Ilustración 85. Prueba de flotabilidad del USV.....  | 60 |
| Ilustración 86. Imagen recibida desde el USV a través del sistema FPV. ....  | 61 |

## Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Presupuesto del proyecto.....   | 23 |
| Tabla 2. Cronograma de actividades ..... | 25 |

## Listado de abreviaturas

|               |  |
|---------------|--|
| <b>USV</b>    | <i>Unmanned Surface Vehicle - Vehículo de superficie no tripulado</i>                |
| <b>GPS</b>    | <i>Global Position System - Sistema de posicionamiento global</i>                    |
| <b>ROV</b>    | <i>Remote Operated Underwater Vehicle - Vehículo subacuático operado remotamente</i> |
| <b>CNC</b>    | <i>Computer Numerical Control - Control numérico computarizado</i>                   |
| <b>ASV</b>    | <i>Autonomous Surface Vehicle - Vehículo autónomo de superficie.</i>                 |
| <b>IoT</b>    | <i>Internet of Things - Internet de las cosas</i>                                    |
| <b>pH</b>     | <i>Medida de acides o alcalinidad de una solución.</i>                               |
| <b>V</b>      | <i>Voltaje</i>   |
| <b>Ah</b>     | <i>Amperios/hora</i>   |
| <b>mAh</b>    | <i>Miliamperios/hora</i>   |
| <b>CAD</b>    | <i>Computer Aided Design - Diseño asistido por computadora</i>                       |
| <b>LiPO</b>   | <i>Batería de Lítio y polímeros</i>  |
| <b>Li-ion</b> | <i>Batería de iones de lítio</i>   |
| <b>PWM</b>    | <i>Pulse Width Modulator - Modulador de ancho de pulsos</i>                          |
| <b>FPV</b>    | <i>First Person View – Vista en primera persona</i>                                  |

## 1 Introducción

Los USV (Unmanned Surface Vehicle [1]) son vehículos acuáticos no tripulados que se utilizan ampliamente en las superficies marinas, ya sea de playas, ríos o lagunas para diferentes tareas como: captación y estudio de las variables físicas del agua (pH, salinidad [2], oxigenación [3]), arqueología subacuática, mapeo del fondo marino, etc. Estos dispositivos suelen ser de tamaño reducido en comparación a un barco de navegación, pero pueden tener sensores más avanzados que un bote regular. Están equipados con geolocalizadores, antenas y sensores que les permiten ser autónomos o radiocontrolados.

Actualmente existen muchos tipos de USV con tamaños y propósitos diferentes, sin embargo, no se ha contemplado la elaboración de un USV para la geolocalización de residuos sólidos flotantes que tanto aquejan al ambiente marino, tal como lo establece la revista National Geographic en su escrito “*El mar Mediterráneo en seis alarmantes cifras*”, donde claramente se deja ver que el plástico como residuo sólido flotante supone el 95% de los residuos en el planeta.



Ilustración 1. Residuos sólidos flotantes.

La conservación del medio ambiente es un tema que le compete a todos los seres humanos en cuanto a que somos habitantes de la Tierra y estaremos aquí por miles de años más, por ende, se deben buscar soluciones para tratar las problemáticas que tenemos hoy en día desde los conocimientos adquiridos en la ingeniería y las tecnologías emergentes al alcance de todos. En la ilustración 1 se puede observar cómo el flagelo de la contaminación amenaza las costas de los territorios y cómo la basura puede deteriorar en gran medida los ecosistemas acuáticos si no se le trata adecuadamente.

Es por esto, que la geolocalización de los residuos sólidos para la conformación de una base de datos con la posición y muestra de éstos, puede facilitar la detección de lugares críticos donde la basura flotante llega a ubicarse de forma parcial o permanente. Es ahí donde las nuevas tecnologías deben aplicarse buscando una solución a la problemática planteada y entonces, se propone la creación de un artefacto que ayude al posicionamiento de estos residuos y, al mismo tiempo, pueda ser radiocontrolado para la ubicación y referenciación de la basura flotante en varios entornos marinos.

El USV que se propone, será de tamaño limitado para su fácil transporte y hará uso de tecnologías de bajo coste (Arduino [4], RaspberryPi [5], madera balsa, comunicación RF [6], etc.) para el reconocimiento de estos residuos y la conformación de una base de datos que pueda ser usada por ambientalistas y personas interesadas en la limpieza de los entornos marinos estudiados. Se usará principalmente en zonas abiertas donde el GPS pueda obtener señales de los satélites para su correcto funcionamiento y donde las corrientes marinas sean bajas para no afectar el funcionamiento y rendimiento del prototipo.

Es indispensable que para el desarrollo del proyecto se integren las tecnologías vinculadas con la industria 4.0, tal como son el reconocimiento de objetos, recolección y análisis de datos, comunicaciones inalámbricas, robótica, entre otras importantes.



*Ilustración 2. Vehículo de superficie autónomo británico para defensa.*

A parte de los USV, también existen otros tipos de dispositivos que se usan en el mar con propósitos variados. Por ejemplo: los ROV's (Remote operated Underwater Vehicle) que se utilizan para las inspecciones subacuáticas hasta los 4000m de profundidad, dependiendo de la clase de fabricación a la que pertenecen y que pueden alcanzar varios millones de dólares en su costo de adquisición [7].

Ahora, a pesar de que estas tecnologías han avanzado tanto que son asequibles a cualquier persona, tal como se mencionó anteriormente, aún no se ha diseñado un ROV o un USV que

pueda localizar, recoger o reconocer objetos indeseados para el cuidado de entornos marinos. Por ende, lo que se busca con este proyecto, es acercarse a la construcción de un prototipo funcional que pueda usarse para iniciar con la exploración de estos espacios que día a día se ven amenazados por el consumismo, el calentamiento global y la desidia de los seres humanos, integrando tecnologías referentes de la Industria 4.0 para ayudar al reconocimiento y posicionamiento en tiempo real de los objetos encontrados.

Para la fabricación del dispositivo se usará inicialmente el diseño 3D haciendo uso de uno de los softwares vistos durante el estudio del máster “Industria 4.0” (Autodesk Inventor [8] o SolidWorks [9]).

Así mismo, y una vez realizado el diseño del prototipo, se fabricará el dispositivo integrando métodos de fabricación inteligente como la impresión 3D, el corte láser y cuando sea requerido el moldeamiento manual de algunas piezas [10].

La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material [11]. El proceso de impresión 3D ofrece a los desarrolladores del producto la capacidad para imprimir partes y contajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de ensamble. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto.



*Ilustración 3. Impresora 3D Prusa i3 MKII [12]*

Por lo anterior, y por la disponibilidad de una máquina de impresión 3D, se ha decidido usar este método de fabricación para obtener piezas elementales y fundamentales del prototipo, combinando este método con el de corte láser CNC que es una técnica empleada para cortar piezas caracterizada por que su fuente de energía es un láser que concentra luz en la superficie de trabajo (madera, acero, acrílico, plástico, etc.).

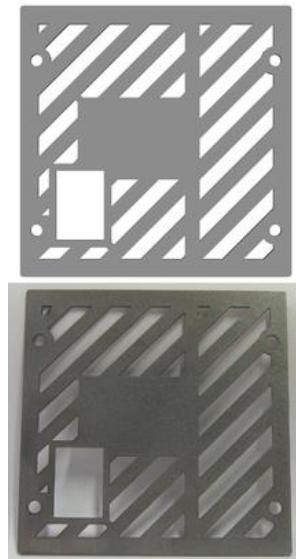


Ilustración 4. Diseño CAD (Arriba) y pieza cortada a láser (Abajo) [13].

A continuación, se describirá el estado del arte donde encontrará el entorno tecnológico que rodea los implementos a utilizar para el diseño, la fabricación y el funcionamiento del prototipo, además de los sistemas de bajo costo implementados para el reconocimiento de imágenes en superficies acuáticas y terrestres. También encontrará algunos proyectos y tecnologías avanzadas relacionadas con el proyecto de investigación.

Así mismo, se podrá evidenciar la metodología de trabajo sistemático que lleva a la realización del dispositivo y la programación de los componentes de forma independiente para la captura de imágenes y creación de una base de datos con coordenadas y posiciones en el espacio captadas desde el dispositivo GPS [14] integrando tecnologías de la industria 4.0.

## 2 Contexto y estado del arte

Los vehículos de superficie no tripulados (USV) o vehículos de superficie autónomos (ASV) son embarcaciones que operan en la superficie del agua sin ningún tipo de tripulación. Se controlan de forma remota y pueden ser comandados por un operador localizado en tierra o a bordo de otra embarcación, permitiendo mantener una primera línea de defensa o realizar inspecciones de embarcaciones, mientras que las embarcaciones tripuladas se mantienen a una distancia segura, evitando riesgos innecesarios [15]. Luego, la integración de nuevas tecnologías, el avance de las comunicaciones inalámbricas, la robótica y la interconectividad de las cosas (IoT [16]), han permitido que la calidad y la producción de estos dispositivos haya aumentado a nivel mundial con fines de innovación, exploración científica e industrial.

Hoy en día se puede observar cómo las redes de sensores para la captación de datos, ya sean variables físico-químicas o variables en el sector de la industria, están conectados a una

red de internet emitiendo un flujo de información constante para un análisis en tiempo real de todos los datos y toma de decisiones por parte del personal capacitado en el área.

Internet ha evolucionado rápidamente y esto ha permitido que el IoT sea ya una realidad y no solo una visión de futuro. La fama del internet de las cosas radica principalmente en todas las aplicaciones y posibilidades que nos proporciona tanto para mejorar la vida cotidiana de las personas como los entornos empresariales, donde ya se está implementando desde algún tiempo [17].

Ahora, si se utiliza esta interconectividad de las cosas y se integran sensores en los dispositivos cotidianos, se puede generar que objetos comunes y corrientes, tales como un refrigerador, un motor, un barco, televisores o hasta un aire acondicionado, envíen información en cuanto a su estado de funcionamiento, temperatura, posición, etc. Un caso llamativo de esto, es el WasteShark de la empresa RanMarine [18] que al mismo tiempo que recoge basura marina flotante, puede captar información del agua y enviarla a una interfaz de forma inalámbrica para la gestión y estudio de las variables por parte del operador. El WasteShark se puede apreciar en la Ilustración 5 que se muestra a continuación.



Ilustración 5. USV WasteShark de la empresa RanMarine [18].

El WasteShark es radiocontrolado y posee más de 14 sensores que ayudan a capturar parámetros del agua tales como: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, entre otras, y, al mismo tiempo, envía esta información a un comando central para que este último, se pueda comunicar con otros drones en el agua [19]. Este sistema, nombrado datashark [19] viene integrado con el USV y está diseñado para trabajar 24 horas al día los 7 días de la semana.

La IoT introduce un cambio radical en la calidad de vida de las personas, ofreciendo una gran cantidad de nuevas oportunidades de acceso a datos, servicios específicos en la educación, en seguridad, asistencia sanitaria o en el transporte, entre otros campos [20].

Por otra parte, en 2010, el número de objetos físicos cotidianos y dispositivos conectados a internet fue de alrededor de 12.5 mil millones. En la actualidad hay cerca de 25 mil millones de dispositivos conectados a la IoT. Más o menos un dispositivo inteligente por persona [19].

Una aplicación usada en el mar y que se basa en el IoT para generar impacto, es el llamado SPOTTER de la empresa sofarosean [21], que consiste en una boya compacta alimentada con energía solar y un banco de baterías diseñada para recolectar datos del mar. A través de una interfaz de usuario, se puede acceder a los datos desde cualquier lugar, cambiar la configuración y activar notificaciones por alarmas, aparte de compartir estos datos con personas a través de una aplicación móvil en tiempo real. En la Ilustración 6, se puede observar al dispositivo funcionando en el mar.

Una de las desventajas de esta aplicación es que, si el dispositivo no cuenta con una red de acceso a internet, ya sea 3G, LTE o WiFi, no podrá compartir los datos que adquiera durante su funcionamiento, lo que limita su uso a sectores donde haya alguna de las señales mencionadas anteriormente. Sin embargo, siempre será posible dirigirse hasta su posición y realizar la descarga de datos de forma manual, pero perdiendo las ventajas del IoT.



Ilustración 6. Spotter funcionando en el agua [22].

Otro sistema famoso y que le está dando la vuelta al mundo por la forma en la que fue diseñado, consiste en el Ocean Cleanup System 001 [23] para la limpieza de los mares en el océano pacífico. Este sistema consiste en un buque alimentado con energía solar que posee una especie de red amigable con el medio ambiente, que una vez desplegada, es capaz de captar todos los residuos que se encuentran en la superficie marina, principalmente plástico. El sistema usa sensores para detectar la dirección del viento, las olas y las corrientes marinas para direccionar toda la infraestructura mientras que, al mismo tiempo, envía datos de forma

remota a una plataforma IoT que es monitoreada por personal encargado. En la Ilustración 7 se puede apreciar como el sistema recoge los desechos en la superficie.



Ilustración 7. Ocean Cleanup System 001 [24]

El sistema almacena y transfiere una gran cantidad de información recolectada de varios sensores. Estos datos facilitan la navegación, ofrecen información sobre el estado del agua, del sistema en general y su integridad. Los sensores están conectados a 5 paneles solares montados en el sistema incluyendo un GPS. Cada estación del sistema, se comunica una con otra a través de una red WiFi y una conexión satelital. Una vez que la estructura recolecta el residuo sobre la superficie, un grupo de barcos manipulados por personas, lo recogen y lo empacan para llevarlo a un lugar de reciclaje o desecharlo de forma adecuada. La Ilustración 8 muestra el proceso de la recolección de estos residuos que puede durar días o semanas dependiendo del volumen de basura.

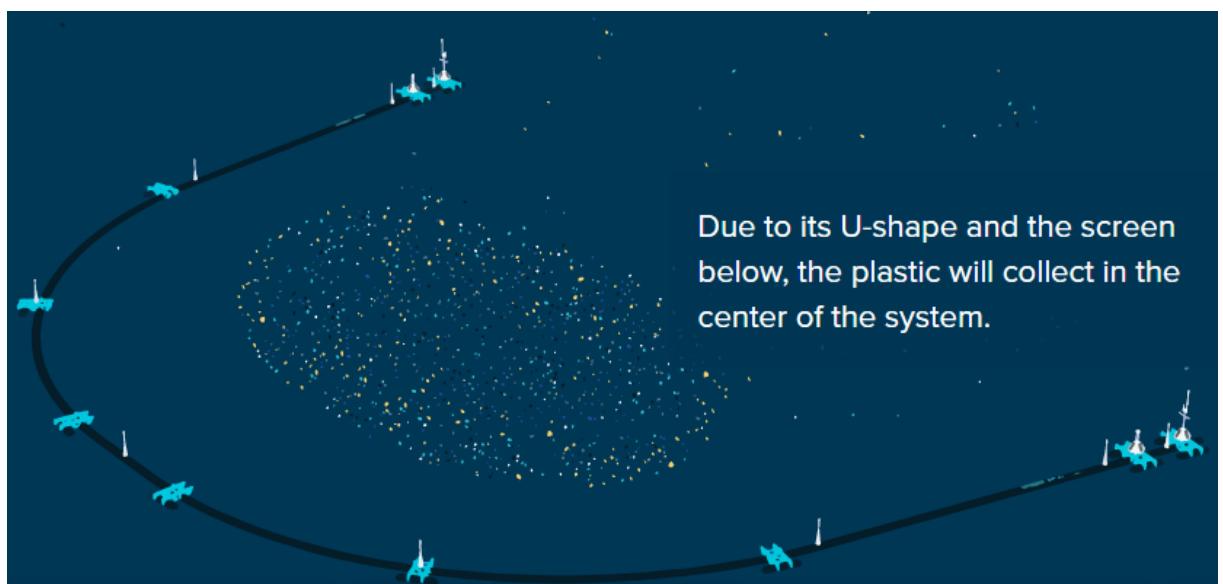


Ilustración 8. Ocean Cleanup System desplegado en el mar en forma de U [24]

En lo anterior, se puede ver claramente, que el uso de sistemas IoT integrando sensores y redes de comunicaciones, potencian en gran medida el uso y disposición de tecnologías innovadoras que ayudan a transformar el mundo. Son ejemplos que dejan ver que el IoT no solo es aplicable a la industria sino a ambientes complemento diferentes que, aunque no puedan llegar a generar grandes ingresos de dinero para sus creadores, benefician en gran medida al planeta y su conservación.

El internet de las cosas es un campo que ha venido creciendo en su uso desde el 2006, debido a la cantidad de dispositivos que hoy en día son capaces de conectarse a internet con el objetivo de enviar datos de diferente índole. Estas tecnologías, muchas de ellas de hardware y software libre, han permitido que cualquier persona con conocimientos en programación y/o electrónica, pueda crear su propia versión de sistemas con un propósito específico, tal como sucedió con el proyecto RaspberryPi, donde sus creadores diseñaron un dispositivo de hardware libre que pudiera funcionar con un sistema operativo libre derivado del GNU/Linux como el Raspbian [25] y actuara como un minicomputador de mano [5]. El resultado de la integración de estas tecnologías, terminó en una placa capaz de conectarse a una red WiFi y a una pantalla, comportándose como un computador para trabajar de forma remota.

Los diseñadores de esta plataforma, desde un inicio, idearon que el uso de la tarjeta RaspberryPi ejecutando el sistema operativo mencionado anteriormente; podía llegar al alcance de niños, adolescentes y personas interesadas en el desarrollo de dispositivos basados en la nube con conexiones inalámbricas o desarrollo de sistemas IoT para la educación autodidacta y prototipos de uso en la industria.

Anteriormente, todos los sistemas y microprocesadores distribuidos por las grandes compañías como Microchip, National Instruments [26], Nvidia o IBM, no podían ser programados o usados sin un permiso especial o sin la adquisición de paquetes costosos protegidos por derechos de autor lo que dificultaba el acceso a los proyectos y el acceso a la información en la WEB. Hoy, el uso de la filosofía del hardware y software libre a través de las comunidades, dio inicio a la revolución del conocimiento tecnológico logrando que todas aquellas personas expertas en temas de programación, electrónica y prototipado, pudieran compartir ideas y conocimientos alimentando el interés y la motivación de personal ajeno pero interesado en estos temas. Como resultado, se obtienen foros de libre acceso donde las personas pueden tomar cursos totalmente gratuitos para fomentar el desarrollo de ideas tecnológicas que puedan ayudar a resolver problemas de la humanidad e impacten a las personas de forma positiva.



*Ilustración 9. Tarjeta RaspberryPi 3 Model B+ [5]*

La tarjeta en mención, se convierte entonces, en uno de los pilares de este proyecto porque permite trabajar un dispositivo con un nivel de programación superior a los otros sistemas que hacen uso de los derechos de autor para poder difundirse y utilizarse. La RaspberryPi, funcionará como cerebro del USV para poder reconocer los objetos flotantes en la superficie marina usando la geolocalización a través de un GPS. La tarjeta, de momento, funcionará de manera independiente al sistema de radiofrecuencia con el que se guiará al USV.

Por otra parte, el sistema RF se usará exclusivamente para el control inalámbrico del dispositivo mientras se encuentre en el agua y el sistema de geolocalización funcionará de forma paralela e independiente a éste, como se acaba de mencionar.

El sistema de radiofrecuencia trabajará a una frecuencia de 2,4Ghz de forma predefinida y consistirá de un control (emisor de la señal) y de un dispositivo receptor ubicado en el USV. Este sistema controlará la velocidad del motor propulsor, así como también la dirección del prototipo (derecha o izquierda).

Como se había mencionado antes, existen USV's con costos de producción aproximados a los 2.000US, 10.000US o 50.000US dependiendo de su uso, ya sea científico, militar, educativo o industrial. Sin embargo, uno de los objetivos del proyecto es minimizar el costo de fabricación del prototipo a un valor aproximado a los 200US, haciendo uso de las tecnologías de hardware y software libres que se describieron anteriormente y utilizando materiales de fabricación económicos y asequibles en el mercado.

El USV entonces, podrá, con ayuda de una cámara instalada en él y conectada al cerebro del sistema, reconocer las imágenes de objetos predefinidos y geoposicionar en una base de datos, la ubicación de dichos objetos. Esta base de datos podrá descargarse con ayuda de una computadora y observar las imágenes captadas durante el recorrido para posteriormente

y de forma inmediata, enviar a personas u otros dispositivos a que recojan o limpien las zonas afectadas.

Ahora, para poder tener claro el significado de “GPS”, se remitirá a la siguiente explicación: *“El GPS (en inglés, Global Positioning System), permite determinar en toda la Tierra la posición de cualquier objeto (persona o vehículo) con una precisión de hasta centímetros, aunque lo habitual son unos metros de precisión dependiendo del sistema usado.”*

*Cada satélite GPS en órbita, emite continuamente un mensaje de navegación a 50bits por segundo en la frecuencia transportadora de microondas de aproximadamente 1.600Mhz y puede ser captada por dispositivos ubicados de forma estratégica en la Tierra [27].*

Existen en el mercado muchas clases de GPS que pueden usarse y programarse en diferentes tipos de plataformas electrónicas como el modelo de la empresa U-blox “NEO-6m [28]” que se puede apreciar en la Ilustración 7, y que ronda el precio de los 20US. Se pretende usar este dispositivo por la facilidad de adquisición y disponibilidad en el mercado, aparte de la fácil programación para la recogida de datos GPS y su libre comunicación con la tarjeta RaspberryPi.



Ilustración 10. GPS de la empresa U-blox NEO 6-m [28]

También, y como se mencionó anteriormente, se usará una cámara conectada a la RaspberryPi y por medio de la cual se podrá realizar la adquisición y reconocimiento de objetos. Esta cámara a usar y, que se muestra en la Ilustración 8, se escogió por su economía, rendimiento y bajo consumo de energía, aparte de ser compatible con la RaspberryPi a usar. La cámara funciona con un voltaje de 2.6V – 3V CMOS al mismo tiempo que admite voltajes TTL (5V), posee un lente de 1/4" de 5 Mega píxeles que es capaz de tomar videos de 1080p a 30fps y tiene un precio aproximado de 10US.



Ilustración 11. Cámara para Raspberry de 5MP [29]

## 3 Objetivos concretos y metodología de trabajo

### 3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un USV (Vehículo para superficie acuática no tripulado por sus siglas en inglés) para el reconocimiento y geolocalización de residuos sólidos flotantes en ecosistemas acuáticos.

### 3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo USV por medio de un software CAD (Autodesk o SolidWorks) y simular un ensamblaje de sus partes.
- Construir un prototipo USV a partir del modelo 3D de sus piezas implementando la impresión 3D y el corte láser CNC.
- Programar un sistema embebido (RaspberryPi) para el reconocimiento de objetos y la geolocalización de éstos e integrarlo al dispositivo USV para su funcionamiento teniendo en cuenta que los componentes electrónicos pueden llegar a entrar en contacto con el agua.
- Reducir costos en el diseño y fabricación de un USV usando tecnologías de hardware y software libre integradas con el IoT.

### 3.3 Metodología de trabajo

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación, se hará uso de una metodología secuencial que lleve a la completa elaboración del prototipo y que se explica a continuación:

Paso 1: Dimensionamiento del prototipo e ideas principales para el diseño.

Paso 2: Búsqueda de referentes bibliográficos para el desarrollo de la idea del proyecto.

Paso 3: Desarrollo del planteamiento del proyecto de investigación.

Paso 4: Diseño del prototipo por software CAD.

Paso 5: Ensamblaje virtual de las piezas del prototipo (sistema de radiofrecuencia y sistema de reconocimiento).

Paso 6: Verificación de la ubicación de los objetos y corrección de errores en el diseño.

Paso 7: Cotización del hardware para el dispositivo.

Paso 8: Compra del hardware para el prototipo.

Paso 9: Fabricación de piezas por medio de impresión 3D.

Paso 10: Corte láser de las piezas en madera balsa del USV.

Paso 11: Construcción del prototipo.

Paso 12: Desarrollo del código para el reconocimiento y geolocalización de los residuos sólidos flotantes.

Paso 13: Corrección de posibles errores en el dispositivo.

Paso 14: Prueba de funcionamiento en agua sin sistema de reconocimiento y geolocalización.

Paso 15: Posible impermeabilización de los componentes electrónicos.

Paso 16: Prueba en agua de todo el sistema USV.

### **3.4 Alcance y limitaciones.**

- ✓ El dispositivo se probará en entornos controlados (piscinas lagos naturales o lagos artificiales que se encuentren al alcance del lugar de residencia del investigador) con objetos predefinidos (botellas plásticas, latas, etc.) para las pruebas iniciales y corrección de errores en el funcionamiento.
- ✓ El USV se diseñará y fabricará, teniendo en cuenta que deberá transportarse fácilmente. Esto requerirá que sea pequeño y de bajo peso.
- ✓ El sistema de radiofrecuencia funcionará de manera independiente al sistema de reconocimiento de residuos sólidos flotantes por temas relacionados con la facilidad de operación del dispositivo.
- ✓ Para poder reconocer un objeto, el agente manipulador (piloto) deberá guiar el USV hasta el lugar donde se encuentre el objeto para que éste pueda reconocerlo y realizar la geolocalización.
- ✓ El USV siempre se probará en entornos abiertos donde la señal GPS pueda adquirirse sin problemas.

- ✓ El prototipo funcionará con tres sistemas de baterías independientes: uno para el funcionamiento eléctrico (motor brushless, servomotor, receptor) del USV, otro para proporcionarle energía al sistema de reconocimiento y geolocalización (RaspberryPi, cámara y GPS) y uno final para la alimentación del sistema de visión en primera persona. Dos de los sistemas de baterías estarán compuestos por baterías Li-ion 18650 y el otro de una batería LiPo 3S de 2200mAh.
- ✓ El USV hará uso de un motor brushless outrunner Turnigy 2826 que posee un empuje aproximado a los 1000gr, con un servomotor de piñonería metálica TowerPro MG995 con un giro de 180°, que estarán conectados al receptor del sistema de radiofrecuencia.
- ✓ Para el manejo del USV se usará un radiocontrol FlySky FS-i6 del que se disponía previamente al desarrollo del proyecto de investigación.
- ✓ El USV será estructuralmente parecido a un hidrodeslizador [30] con el objetivo de evitar que el motor esté en contacto con el agua de forma permanente y pensando que algunos lagos pueden contener algas que podrían enredarse con la hélice del USV, si ésta última es semisumergible.
- ✓ Las imágenes que se capturen durante una faena, así como también las coordenadas de los objetos geolocalizados, deberán descargarse a una computadora para poder ser tratadas y verificadas.
- ✓ El USV no poseerá ningún tipo de sistema relacionado con energías renovables para la recarga de las baterías o funcionamiento de éste, debido al poco presupuesto del que se dispone.
- ✓ Las baterías 18650 usadas por los sistemas de vista en primera persona (FPV) y el reconocimiento de imágenes (RaspberryPi) y que se muestran en la ilustración 16, serán baterías recicladas de computadoras (laptop) antiguas. Esto ayudará a economizar la adquisición de dichos componentes (en total serán 4 baterías 18650 tipo Li-ion recargables. Dos para cada sistema descrito anteriormente).
- ✓ El prototipo poseerá una dirección al andar (adelante) y dos direcciones para girar (derecha e izquierda).
- ✓ El USV no podrá retroceder debido a que el radiocontrol utilizado no envía señal de reversa al motor brushless.

### 3.5 Tecnologías implicadas:

#### 3.5.1 Sistema RF:

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se necesitarán dispositivos con capacidad de comunicación RF, capacidad de análisis de imágenes en tiempo real y, además, dispositivos electrónicos de potencia tales como: motores, servomotores y baterías especiales

para afrontar el alto consumo de energía de todos los componentes mencionados, principalmente los de potencia.

Una de las tecnologías más usadas para el USV, y de la que más se ha hablado en esta investigación, es la RaspberryPi 3 Model B+ que es una tarjeta compuesta por un microprocesador con capacidad similar a la de un computador diminuto que posee un sistema operativo instalado y a la cual se le pueden conectar varios periféricos (sensores, cámaras, servomotores, módulos GPS, etc.). Esta tarjeta es la que se encargará de procesar toda la información recibida tanto del GPS a usar, como del reconocimiento de los objetos que la cámara perciba.

Por otra parte, y una de las piezas más importantes para el USV, es el radiocontrol y el receptor del sistema dado que serán los encargados de transmitir y recibir las señales que controlarán la velocidad y el giro del prototipo mientras se encuentre andando. En la siguiente imagen, se puede observar el radiocontrol que se usará para el proyecto y del cual se disponía con anterioridad a la investigación.



Ilustración 12. Radiocontrol FlySky FS-i6 [31]

El radiocontrol posee 6 canales por donde transmitir señales (velocidad, giro hacia la derecha, giro hacia la izquierda, arriba, abajo y un canal extra para un fin deseado). En el caso del USV, se usarán solo 3 canales (velocidad, giro a la derecha y giro a la izquierda), debido a que se dispone de un motor y un servomotor para controlar todos los movimientos posibles del prototipo.

### 3.5.2 Sistema de dirección:

La ilustración que se aprecia a continuación, consiste en el servomotor a utilizar para el control de la dirección del USV. Los servomotores son dispositivos que, dependiendo de su objetivo

y su fabricación, pueden girar de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  o girar  $360^\circ$  (vuelta completa). Funcionan basados en una señal PWM (Pulse Width Modulator [32] – tren de pulsos) que por lo general es brindada por un microcontrolador o un microprocesador, en este caso, un microprocesador (RaspberryPi). Luego, al variar el tren de pulsos, ya sea en frecuencia o en periodo, el servomotor se ubicará en una posición específica predeterminada. Es este mismo movimiento que puede mantener el servomotor de forma estática el que se usa para direccionar las hélices o alerones del USV y así, redireccionar el viento producido por el motor del prototipo para que pueda girar.



Ilustración 13. Servomotor TowerPro MG-995 [33]

Existen en el mercado muchas clases de servomotores de diferentes características y tamaños. Sin embargo, se ha escogido este servo por su economía disponibilidad en el mercado y la piñonería metálica de la que dispone que lo hace resistente a los fuertes torques puede llegar a presentar el USV al momento de giros bruscos.

### 3.5.3 Sistema de propulsión:

Como único propulsor del prototipo, se usará un motor brushless Turnigy outrunner 2826 – 2200KV que se presenta a continuación y el cual tiene la suficiente capacidad para impulsar el USV con todos los componentes.



Ilustración 14. Motor brushless Turnigy 2826 - 2200KV [34]

Al igual que los servomotores, existen muchos tipos de motores brushless que podrían usarse como propulsores del USV a construir, sin embargo, se ha escogido este por su economía, la potencia (342W) y la disponibilidad en el mercado. Este motor es capaz de girar a 12000RPM aproximadamente con una hélice de 6"x4".

### 3.5.4 Alimentación.

Para el sistema de alimentación de los componentes, se usarán dos fuentes. La primera fuente estará vinculada al sistema de potencia del USV (motor, receptor de señal y servomotor). Consiste en una batería LiPO de 3 celdas (cada celda entrega 4.2V y 20C de descarga [35]) como la que se muestra en la Ilustración 14, que puede entregar hasta 12.6V y 2.2Ah suficientes para darle un uso continuo al USV por más de 20 minutos. Estas baterías, técnicamente llamadas baterías de polímero de iones de litio (LiPO, Li-polí) son pilas recargables compuestas generalmente de varias células secundarias idénticas conectadas en paralelo para aumentar la capacidad de la corriente de descarga [36]. Se suelen utilizar mucho en celulares y en aeromodelos donde el consumo de energía es alto.



Ilustración 15. Batería LiPO 3s - 2.2Ah [34]

Por otra parte, se tendrá el sistema de energía acoplado al sistema de reconocimiento y geolocalización de los objetos flotantes. Este sistema alimentará a la RaspberryPi, el GPS y la cámara instalada en el USV. Consiste en un par de baterías Li-ion conectadas en serie que proporcionarán un voltaje de 8.4V (Se puede ver la imagen en la ilustración 15). Estas baterías tienen un excelente rendimiento y han sido extraídas de un computador portátil antiguo que se encontraba en desuso. Estas baterías, técnicamente llamadas baterías de iones de litio (Li-ion), es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito una sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo.

Las propiedades de las baterías de Li-ion, como la ligereza de sus componentes, su elevada capacidad energética y resistencia a la descarga junto con el poco efecto memoria que sufren, la hace ideal para su uso en el USV.



Ilustración 16. Baterías Li-ion 18650 [37]

Existe muchos tipos de baterías Li-ion, en el caso del USV, se usarán las baterías de referencia 18650 (18mm de diámetro y 650mm de alto) que se muestran en la Ilustración 15.

Los sistemas de energía descritos anteriormente, y que se explican con más detalle en el siguiente apartado, son recargables y pueden funcionar con un sistema de paneles solares [38] que, conectados a un regulador, les pueda suministrar energía constante a las baterías para aumentar el tiempo de uso del USV. Sin embargo, por presupuesto limitado en el proyecto, la integración de estos paneles solares en el dispositivo, se dejará como trabajo futuro.

### 3.5.5 Sistema FPV:

Un sistema FPV [39] (sistema de vista en primera persona por sus siglas en inglés) es un procedimiento usado ampliamente en el aeromodelismo radiocontrolado para transmitir video desde el aeroplano a una estación base ubicada en tierra en tiempo real [40]. Este sistema,

que consiste en una cámara instalada en el dispositivo, una antena, un transmisor y una fuente de energía, se usará para recibir la imagen del bote mientras se encuentre en el agua. Se buscará adaptar este sistema usado en aeromodelos, para que pueda funcionar de forma paralela a los otros dos sistemas implementados en el USV. La transmisión de la señal de video, se hace en una banda de 5.8Ghz, lo cual no interferirá en la señal emitida por el mando del radiocontrol que funciona a 2.4Ghz. En las ilustraciones 16 y 17, se puede observar un sistema FPV instado en un dron y unas gafas google que reciben la señal para el operador del aeromodelo.

El uso del sistema FPV en el USV, facilitará la navegación, toda vez que se tendrá una vista en primera persona mientras que el dispositivo se encuentre en funcionamiento. Además, ampliará el rango de uso por el hecho de que a cierta distancia (200m o más) el USV ya no sea visible desde tierra. Es un recurso muy importante que sin duda alguna podrá integrarse al prototipo para mejorar la experiencia de uso.



Ilustración 17. Sistema FPV transmisor de video (cámara y antena) [41]



Ilustración 18. Sistema FPV receptor (gafas google - marca Eachine) [42]

### 3.5.6 Arquitectura, componentes e integración de tecnologías.

A continuación, se mostrarán la integración de las tecnologías a usar en el proyecto de investigación. Se debe recordar que existirán dos sistemas independientes pero que

funcionarán paralelamente en el prototipo, el sistema de comunicación RF entre el operario y el USV que controlará el movimiento en el agua del objeto y el sistema de reconocimiento y geolocalización de los objetos flotantes integrado con la RaspberryPi. Por consiguiente, se mostrarán las arquitecturas usadas para cada sistema de manera individual.

Además de esto y de forma paralela, habrá un sistema de vista en primera persona (FPV – First Person View) que estará ubicado en el USV y emitirá video en una frecuencia de 5.8GHz con el objetivo de poder ver los objetos con una vista desde el prototipo. Esto ayudará a guiar de una forma más precisa al bote cuando se observe un residuo flotante. Este sistema FPV, funcionará de manera totalmente independiente a los dos sistemas descritos anteriormente. Esto quiere decir que no interferirá con el desarrollo del reconocimiento o la geolocalización, sino que será un apoyo para que el operario pueda ubicarse mejor en el espacio donde se esté usando el USV.

Siendo así, el sistema de reconocimiento y geolocalización estará conformado por 4 componentes principales que ya se han explicado anteriormente y los cuales son: 1) RaspberryPi 3 Model B+ como cerebro del sistema. 2) módulo GPS NEO 6m para la geolocalización de los objetos. 3) la cámara de 5MP para el reconocimiento de los objetos y 4) El sistema de baterías Li-ion 18650 de 3300mAh. Hay un quinto componente del que no se ha hablado, pero consiste en un módulo de regulación de voltaje de 5V para la RaspberryPi debido a que ésta última no acepta voltajes superiores a 5 voltios y las baterías que se usarán podrán suministrar desde 8.4V hasta 12.6V, lo cual podría dañar la tarjeta. Este módulo que es un LM2596, es un convertidor de voltaje que acepta desde 1.25V hasta 35V y puede variar su salida dependiendo del valor del voltaje de entrada. Se usará este componente debido a su economía, disponibilidad en el mercado y la fiabilidad en el suministro constante de energía. El uso de este componente se vuelve algo crítico para el sistema debido a que será el mediador entre la energía entregada por las baterías y la Raspberry Pi. Hay que aclarar nuevamente que la Raspberry Pi no soporta voltajes mayores a los 5V en su entrada y un voltaje que supere este umbral, puede dañar el regulador interno que trae instalado ella, ocasionando el daño de la tarjeta.

El módulo LM2596, puede entregar hasta 2 amperios/hora de corriente, lo cual es suficiente para que la Raspberry Pi pueda funcionar bien, sin problemas de reinicio o apagado durante el funcionamiento. La siguiente ilustración muestra al objeto que se acaba de describir.



Ilustración 19. Módulo regulador de voltaje LM2596 [43]

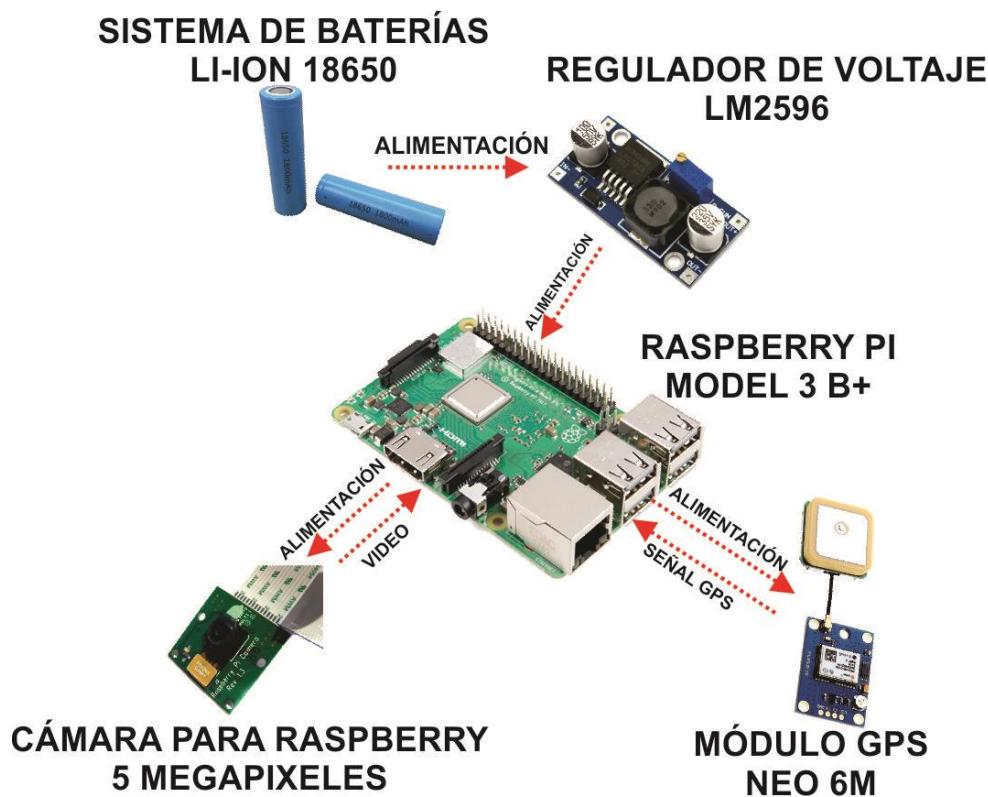


Ilustración 20. Arquitectura para el reconocimiento y geoposicionamiento de objetos del USV.

Por otra parte, se tiene el sistema de comunicación RF que estará conformado por 6 componentes que se explican a continuación: 1) Radiocontrol transmisor que poseerá el operario del USV en todo momento, y el cual emite señales en la banda de los 2.4Ghz. 2) El receptor que estará instalado en el USV y que, al mismo tiempo, se encargará de transmitir y suministrar energía al servomotor. 3) El servomotor que se usará para manipular la dirección del USV. 4) ESC (electronic speed controller o controlador electrónico de velocidad por sus siglas en inglés) que será el encargado de suministrar la potencia suficiente al motor brushless dependiendo de la señal emitida por el receptor. 5) Motor brushless que funcionará como

propulsor del USV sin contacto directo con el agua y quien estará conectado únicamente al ESC. 6) Sistema de baterías LiPo de 12.6V a 2200mAh.

Cabe aclarar que el receptor es un componente que posee un regulador de 5V en su interior y es capaz de transmitir señales tanto de corriente como de voltaje a los dispositivos que se conecten a él. En este caso solo habrá dos componentes conectados a él, el ESC y el servomotor, cada uno de ellos en un canal diferente (canal 3 y canal 1 respectivamente). En sistemas más complejos como los de un avión RC, puede haber conectados al receptor más de 4 servomotores, cada uno en un canal diferente o mezclados por medio de un conector en Y (conector en paralelo de servomotores).

A continuación, se explica el esquema general de los componentes que estarán ubicados en tierra y la arquitectura de los componentes que se instalarán en el USV. Cabe recordar que la transmisión de video se realizará de manera independiente al manejo del prototipo y que no afectará el proceso de reconocimiento de imagen. Al final, el bote tendrá instalado en él dos cámaras. Una conectada a la RaspberryPi para el reconocimiento de objetos, y otra conectada al transmisor de video para el sistema FPV.



Ilustración 21. Arquitectura de componentes instalados en el USV

### 3.6 Resultados esperados.

Al finalizar este proyecto de investigación se espera obtener un prototipo de USV de bajo costo Open Source que pueda reconocer objetos sólidos flotantes en entornos acuáticos y que se pueda usar para formar una base de datos que contenga la geolocalización de éstos. El prototipo a desarrollar no será sumergible en agua y no estará preparado para entornos extremos tales como: tormentas eléctricas, lluvias, etc. Se pretende obtener una pequeña base de datos de un lugar prestablecido en una región de Colombia con información sobre los objetos encontrados en ambientes marinos (lagos artificiales, lagos, ríos o playas), así como también datos que ayuden a enfocar esfuerzos para combatir la contaminación marina.

### 3.7 Presupuesto de la investigación.

A continuación, se listan los componentes a utilizar para el proyecto de investigación especificados en dólares (US). La columna que se llamó “capacidad instalada” se refiere a los componentes tanto de hardware como de software de los que se disponía de forma previa para realizar el proyecto. La columna que se llamó “efectivo” se refiere a los componentes tanto de software como de hardware de los que no se disponía al momento del desarrollo del proyecto y que tocó adquirir.

| PRESUPUESTO |   |                        |              |
|-------------|---|------------------------|--------------|
| ÍTEM        | DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE                      | CAPACIDAD INSTALADA US | EFFECTIVO US |
| 1           | RASPBERRYPI 3 MODEL B+                          | \$ 30,0                |              |
| 2           | RADIOCONTROL FLYSKY FS-I6                       | \$ 49,0                |              |
| 3           | IMPRESORA 3D                                    | \$ 400,0               |              |
| 4           | SISTEMA FPV 5.8GHz - USADO                      | \$ 60,0                |              |
| 5           | AUTODESK INVENTOR 2017 - LICENCIA DE ESTUDIANTE | GRATIS                 |              |
| 5           | MADERA BALSA VARIADA                            |                        | \$ 20,0      |
| 6           | MOTOR BRUSHLESS OUTRUNNER TURNIGY 2826          |                        | \$ 12,0      |
| 7           | CONTROLADOR DE VELOCIDAD ESC 40A                |                        | \$ 9,0       |
| 8           | CORTE LÁSER DE ACRÍLICO PARA BASE               |                        | \$ 8,0       |
| 9           | BATERÍA LIPO 3S - 2200MAH                       |                        | \$ 15,0      |

|  |                               |                 |
|--|-------------------------------|-----------------|
| <b>10</b>                              | CÁMARA 5MP PARA RASPBERRY     | \$ 10,0         |
| <b>11</b>                              | MÓDULO GPS Y ANTENA           | \$ 12,0         |
| <b>12</b>                              | SPRAY IMPERMEABLE Y PROTECTOR | \$ 10,0         |
| <b>13</b>                              | SERVOMOTOR TOWERPRO MG995     | \$ 8,0          |
| <b>14</b>                              | HÉLICE 6X4"                   | \$ 4,0          |
| <b>15</b>                              | BARNIZ IMPERMEABILIZANTE      | \$ 10,0         |
| <b>16</b>                              | PAPEL VINILO                  | \$ 8,0          |
| <b>17</b>                              | PEGANTE MADERA                | \$ 5,0          |
| <b>18</b>                              | ALFILERES (PUNTILLAS)         | \$ 1,0          |
| <b>19</b>                              | TORNILLERÍA GENERAL           | \$ 5,0          |
| <b>20</b>                              | SALIDAS DE CAMPO              | \$ 30,00        |
| <b>21</b>                              | CABLERÍA - CONECTORES         | \$ 10,00        |
| <b>SUBTOTAL CAPACIDAD INSTALADA US</b> |                               | <b>\$ 539,0</b> |
| <b>SUBTOTAL EFECTIVO US</b>            |                               | <b>\$ 177,0</b> |
| <b>TOTAL PROYECTO US</b>               |                               | <b>\$ 716,0</b> |

Tabla 1. Presupuesto del proyecto

### 3.8 Planificación general.

| CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES - PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  |                                |   |   |   |   |   |   |
|--|--------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| ACTIVIDAD  | MESES (ENERO - JULIO DEL 2019) |   |   |   |   |   |   |
|  | 1                              | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| PLANEACIÓN DE LA PROPUESTA   | ■                              |   |   |   |   |   |   |
| ESTRUCTURACIÓN DE LA PROPUESTA Y COTIZACIÓN DEL PROYECTO   |                                | ■ |   |   |   |   |   |
| DISEÑO DEL PROTOTIPO Y SIMULACIÓN DE LAS PIEZAS CON EL SOFTWARE SOLIDWORKS                                     |                                |   | ■ | ■ |   |   |   |
| COMPRA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS.  |                                |   |   |   | ■ |   |   |
| FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO (IMPLEMENTACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D Y CORTE LÁSER)                                  |                                |   |   |   |   |   |   |
| PROGRAMACIÓN DEL MICROPROCESADOR RASPBERRYPI PARA EL RECONOCIMIENTO Y GEOLOCALIZACIÓN DE LOS OBJETOS FLOTANTES |                                |   |   |   | ■ | ■ |   |
| PRUEBAS DEL DISPOSITIVO EN ENTORNOS CONTROLADOS  |                                |   |   |   |   | ■ |   |



## 4 Desarrollo específico de la contribución del TFM

### 4.1 Diseño del prototipo y simulación de las piezas con el software SolidWorks

Como se ha mencionado anteriormente, para el diseño del USV se utilizó el software “Autodesk Inventor” por encima de “SolidWorks 2016”, debido a que éste primero se disponía de forma previa con licencia gratuita, era más fácil de usar y se tenía mayor experiencia en el manejo de sus herramientas.

Inicialmente se tuvo en cuenta el tamaño final del prototipo y se estableció que, por versatilidad y maniobrabilidad, la base flotante (base de contacto con el agua), tendría una altura de 86mm aproximadamente. Así mismo, dicha base tendría un ancho de 280mm y 452mm de largo.

Teniendo las medidas definidas, se procedió a realizar las piezas principales del USV llamadas “cuadernas” que tienen la función de armar una cruz que soportará las fuerzas “G” que producirá el motor y los movimientos bruscos del USV al chocar contra la superficie del agua. La ilustración 22, 23 y 24 muestran el ensamblaje de estas dos piezas realizando una forma de cruz con el software Autodesk Inventor y las piezas individuales respectivamente.

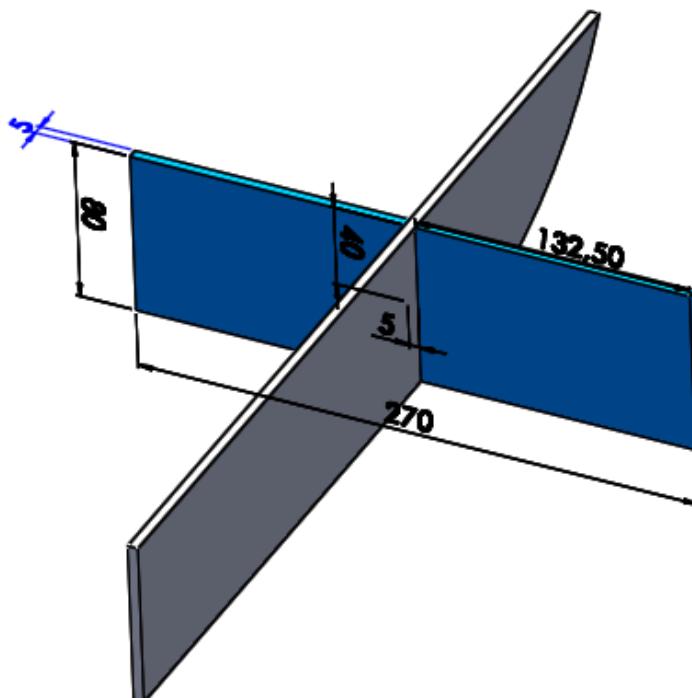


Ilustración 22. Ensamble de cuadernas principales del USV.

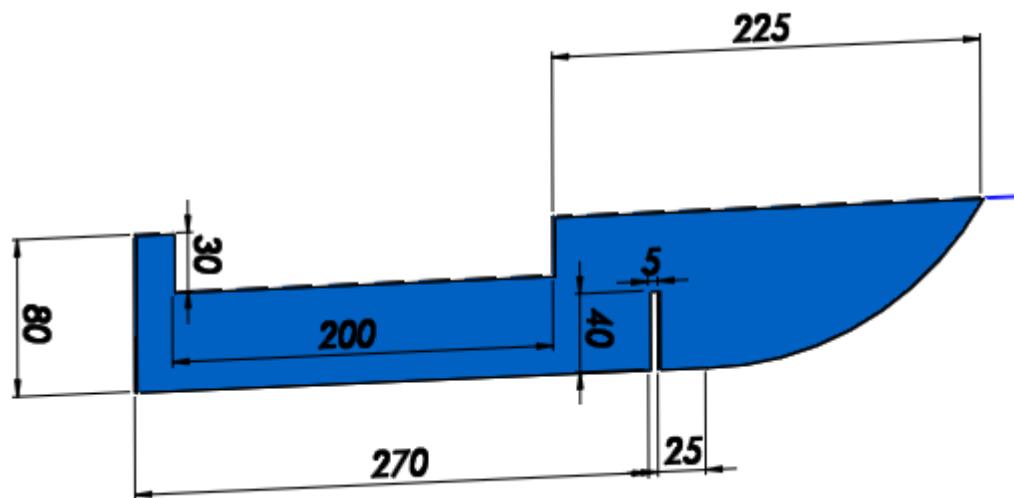


Ilustración 23. Cuaderna principal vertical.

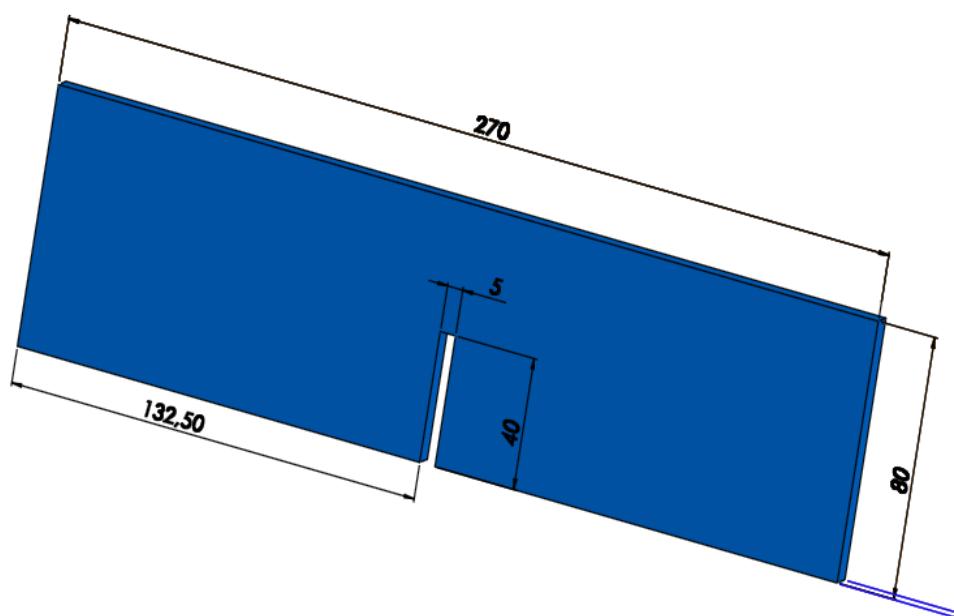


Ilustración 24. Cuaderna principal horizontal

A las cuadernas antes mencionadas, se les realizó un corte en el medio para poder unirlas de forma precisa y poderlas pegar con colbón madera posteriormente. Dichos cortes, que se pueden apreciar en cada pieza, tienen un ancho de 5mm y un alto de 40mm, que es justo la mitad del alto de las piezas. Si bien es cierto que el alto de la base flotante del USV es de 86mm, como se había mencionado anteriormente, hay que tener en cuenta que las capas superiores e inferiores de dicha base, tienen un espesor de 3mm, por ende, las cuadernas poseen un alto de 80mm.

Al finalizar con el diseño de estas cuadernas, se procedió a diseñar las piezas que formarían la estructura externa del USV. Éstas últimas también poseen un ancho de 5mm y poseen las dimensiones que se pueden apreciar en las ilustraciones 25, 26 y 27.

Se debe tener en cuenta que hay dos cuadernas iguales debido a la forma del USV. Estas cuadernas son la vertical derecha y la vertical izquierda.

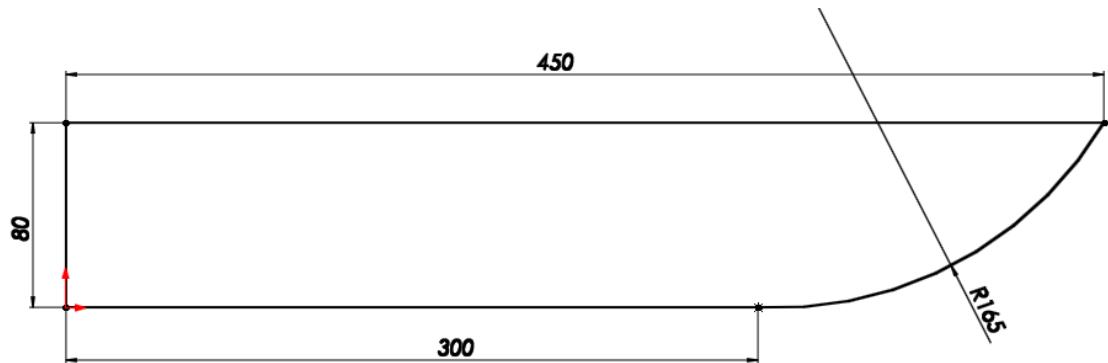


Ilustración 25. Cuaderna derecha vertical externa del USV

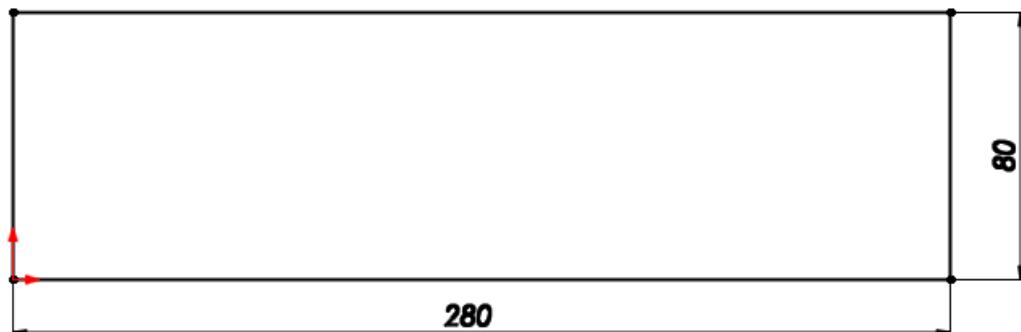


Ilustración 26. Cuaderna horizontal trasera del USV

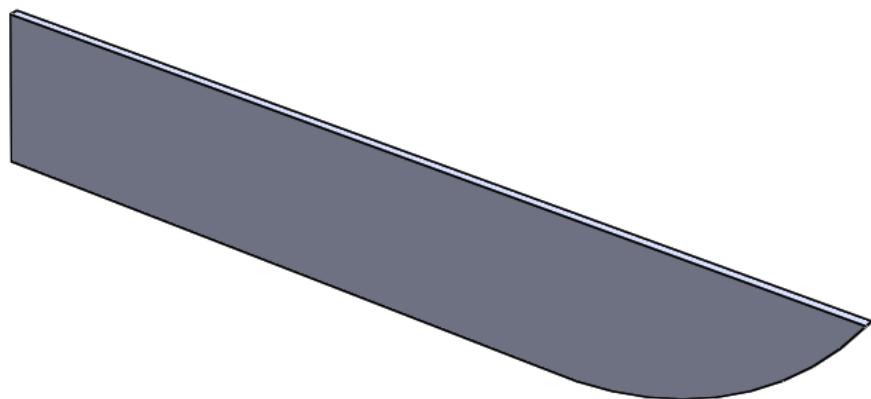
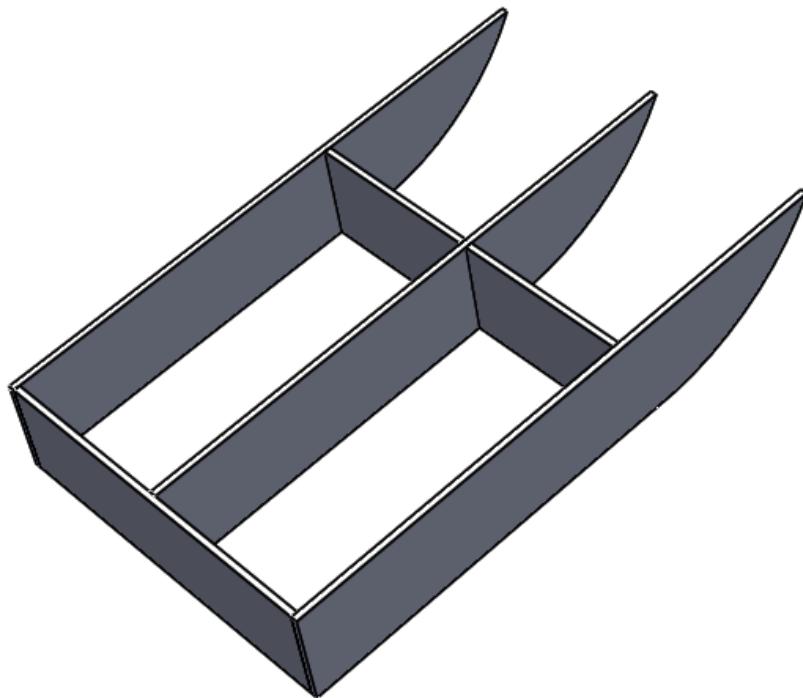
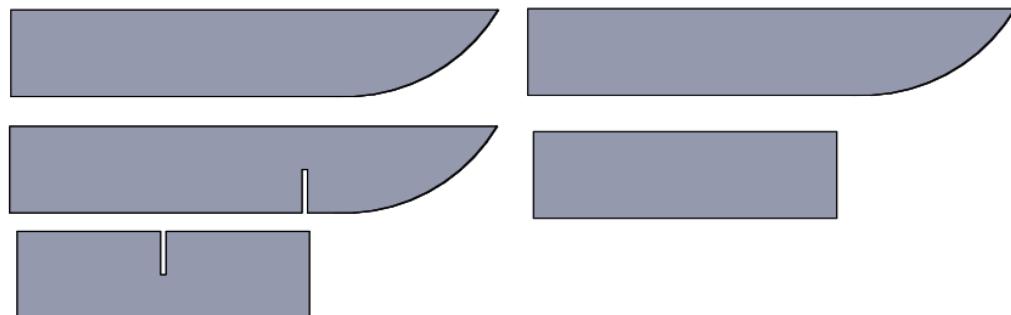


Ilustración 27. Diseño de cuaderna vertical izquierda externa

La ilustración 28 muestra el ensamblaje de todas las cuadernas principales y en la ilustración 29 se puede apreciar todas las piezas de acuerdo a su tamaño.



*Ilustración 28. Ensamble de cuadernas principales y externas.*



*Ilustración 29. Piezas principales del USV ordenadas por tamaño.*

Teniendo las cuadernas principales para la base flotante del USV, se procedió a diseñar la base para el sistema de propulsión y las superficies superior e inferior que cubrirían el USV.

Antes de continuar con el diseño de las piezas mencionadas anteriormente, es pertinente mostrar dos piezas llamadas “vigas internas” que son las encargadas de transferir el torque generado por el motor a la cuaderna vertical principal del USV. Estas vigas quedaron sujetas

a la cuaderna mencionada anteriormente por medio de tornillos y tuercas. Las ilustraciones 30 y 31 muestran las vigas internas con las medidas.

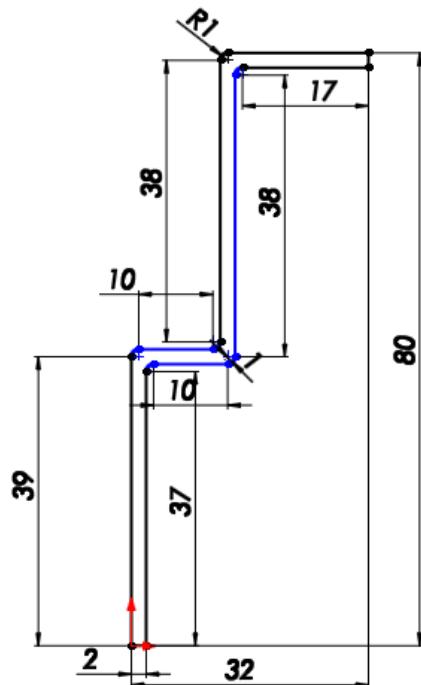


Ilustración 30. Medidas de viga interna.

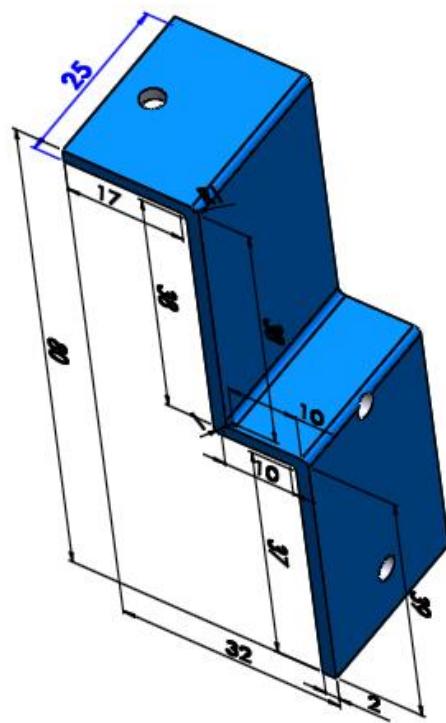


Ilustración 31. Imagen tridimensional de la viga interna.

En el modelo existirán dos vigas internas acopladas a la cuaderna principal vertical de la ilustración 23 y a la base del sistema de propulsión que se mostrará más adelante en detalle. Este par de piezas se fabricaron por medio de impresión 3D y quedarán acopladas al sistema tal como se muestra en la ilustración 32.

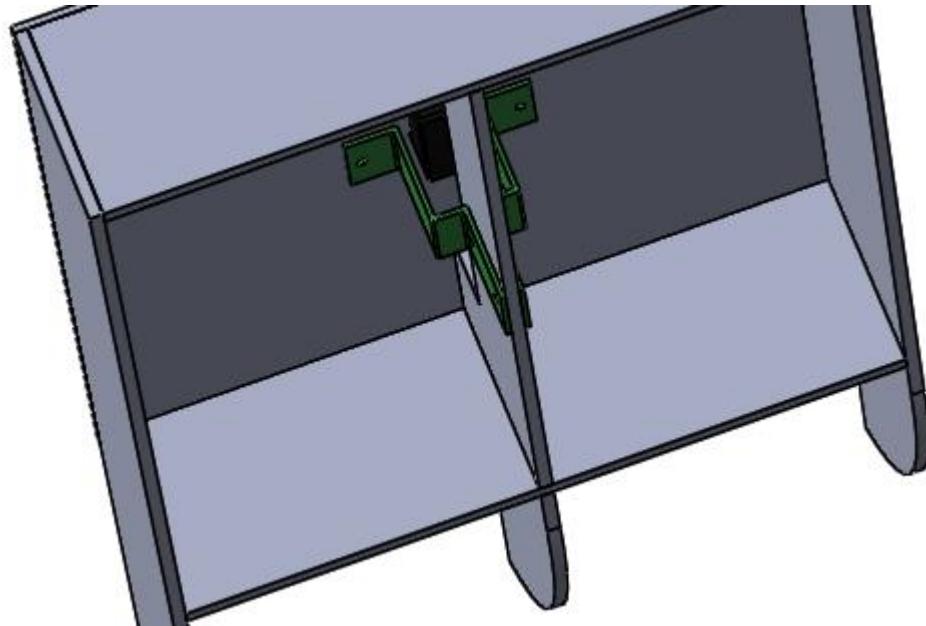


Ilustración 32. Vigas internas acopladas a la cuaderna principal vertical.

Con dichas vigas acopladas al sistema de cuadernas, se procedió a diseñar la superficie superior e inferior que tendrían una forma rectangular para terminar de cubrir el USV. Estas piezas, se pueden observar en las ilustraciones 33 y 34 respectivamente.

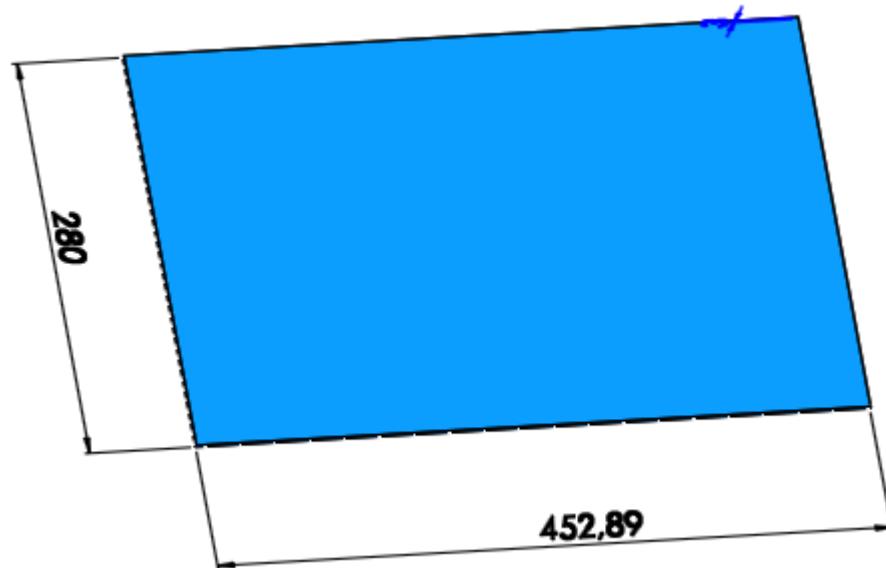


Ilustración 33. Superficie superior del USV (3mm de espesor).

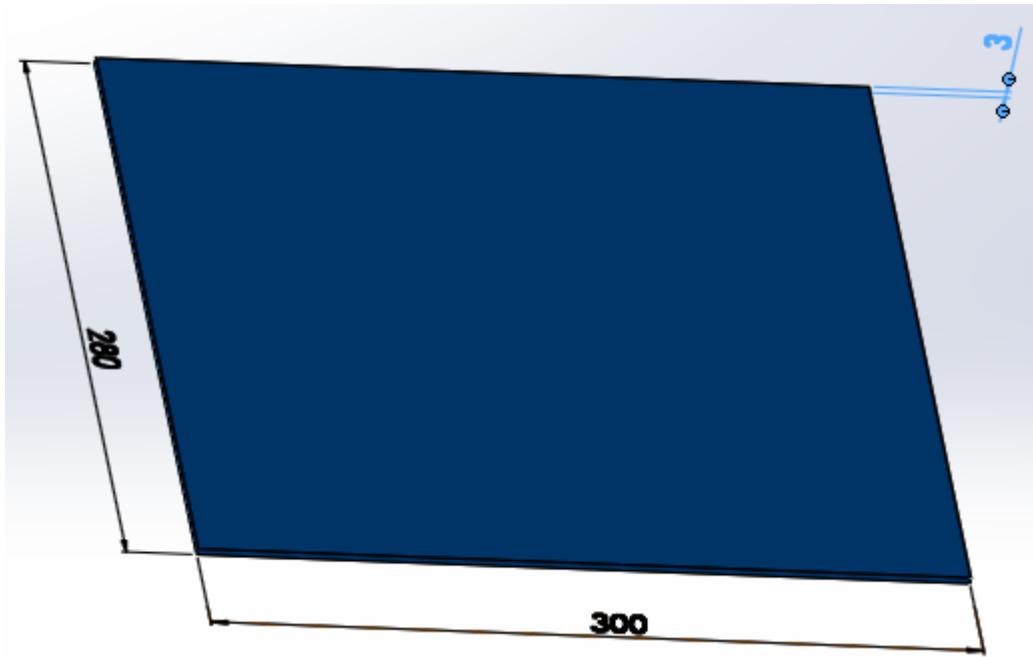


Ilustración 34. Superficie inferior del USV (3mm de espesor).

Una vez finalizadas las superficies superiores e inferiores, se procedió a diseñar la base para el sistema de propulsión del USV. Cabe recordar que dicho sistema estará integrado con un motor tipo brushless outrunner “Turnigy 2826” y un servomotor TowerPro MG991 de piñonería metálica.

Luego, teniendo en cuenta las dimensiones de los componentes antes mencionados, se procedió a diseñar la base para ellos.

Para empezar, se creó la base de todo el sistema que consiste en una pieza tridimensional con dos rieles que servirán para fijar dos soportes verticales que sostendrán el motor brushless y una estructura rígida para éste. Esta base se puede apreciar en la ilustración 35 con las medidas exactas. Esta pieza resulta indispensable en la estructura de propulsión del USV porque será la encargada de transferir el torque del motor a las vigas internas mencionadas en la ilustración 31. Además de esto, esta pieza también llevará sujetado a ella, el servomotor encargado de desviar el viento generado por el motor para cambiar la dirección del prototipo y dirigirlo hacia la izquierda o hacia la derecha según se deseé.

Dicho servomotor estará ubicado en un orificio diseñado para él en la zona central de la base tal como se puede observar en la ilustración 35.

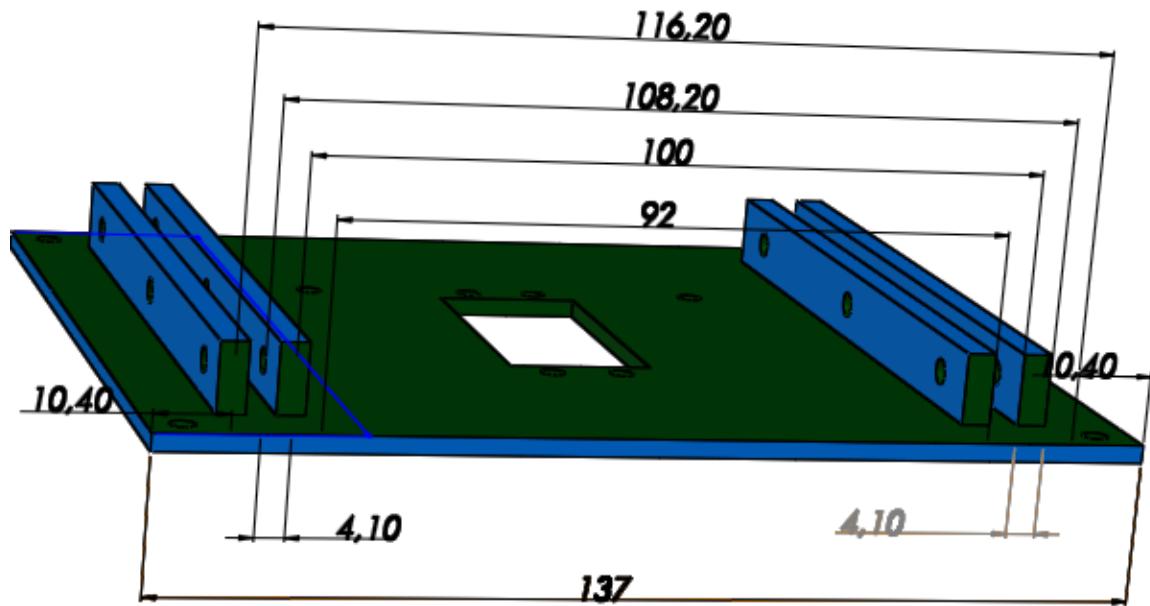


Ilustración 35. Vista en perspectiva de la base del sistema de propulsión.

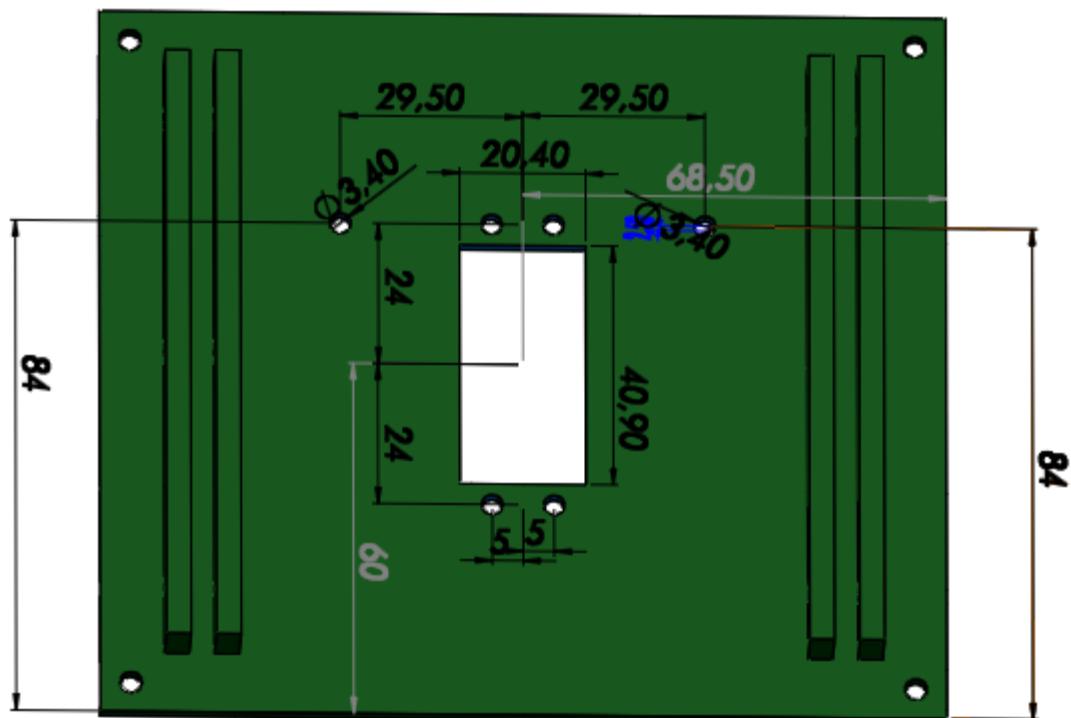
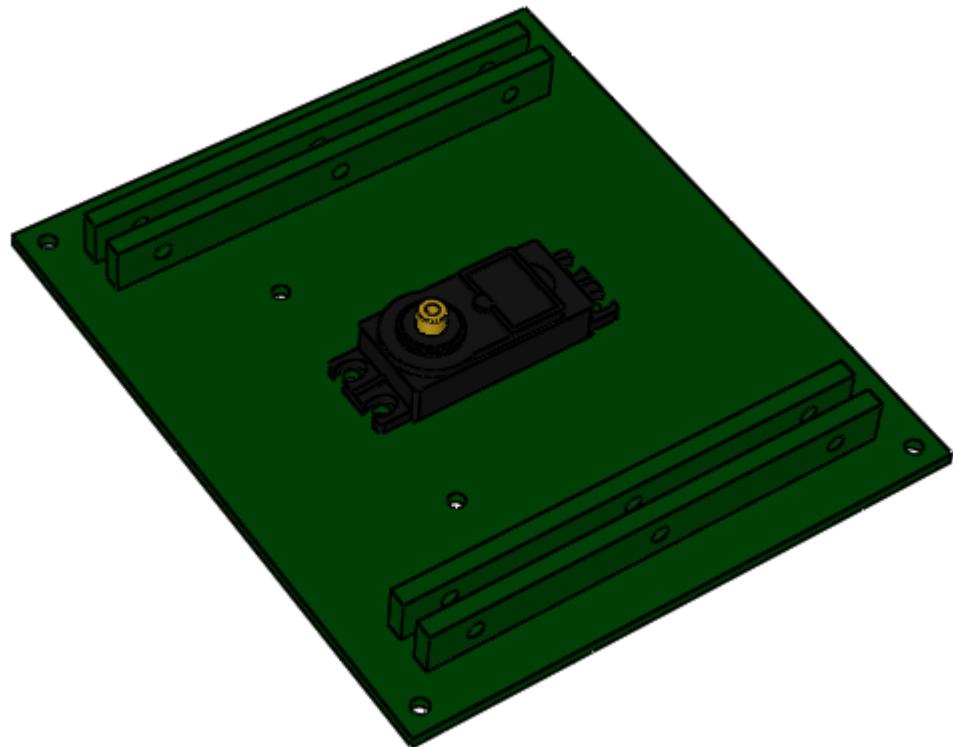


Ilustración 36. Vista superior de la base del sistema de propulsión.

Los rieles de los que se habló anteriormente se pueden apreciar a la derecha y a la izquierda de la ilustración 36. Dichos rieles poseen 4mm de espesor para insertar los soportes verticales del sistema de propulsión que se mostrarán a continuación. Las medidas del servomotor se extrajeron de forma manual con ayuda de un vernier [44] para evitar errores de referencias dado que no se encontró una fuente del fabricante.

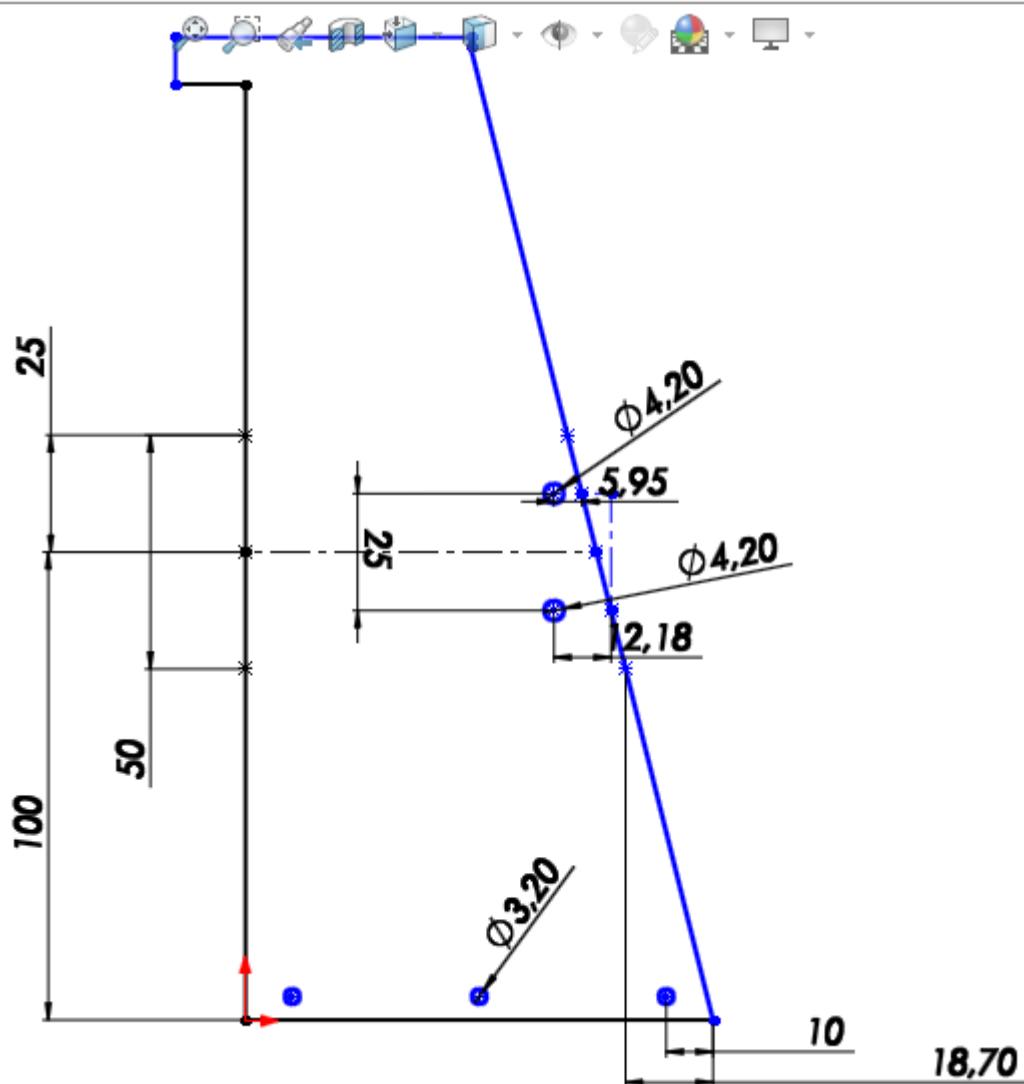
La ilustración 37 muestra el ensamblaje del servomotor y el soporte del sistema de propulsión. El modelo tridimensional del servomotor no se diseñó, sino que se utilizó un modelo que estaba subido en la web de la plataforma Grabcad [45], usada de manera amplia por diseñadores de diferentes clases de objetos. Usar este modelo, ahorró tiempo de diseño de este objeto y cabe resaltar la importancia de los documentos y tecnologías libres porque ayudan al desarrollo de prototipos de manera rápida como éste.



*Ilustración 37. Ensamble de servomotor a la base del sistema de propulsión.*

Los orificios que se ven a los lados del servomotor, son para insertar dos tornillos pasadores que se fijarán a las vigas internas del USV. Así mismo, los cuatro orificios ubicados en las esquinas del modelo tridimensional, se usan para fijar el objeto a la superficie superior de la ilustración 33, por medio de tornillos, tuercas y arandelas. De igual forma, en la ilustración 37 se pueden observar seis orificios en cada riel. Dichos orificios se usarán para asegurar por medio de tornillos y tuercas los soportes verticales del sistema de propulsión.

Acto seguido, y teniendo en cuenta la dimensión de la hélice a utilizar (180mm aproximadamente), se diseñaron los soportes verticales para el sistema de propulsión. Las dimensiones de estos soportes, que son iguales en forma y medidas, se pueden apreciar en las ilustraciones 38 y 39 que se muestran a continuación.



*Ilustración 38. Dimensiones de los soportes verticales del sistema de propulsión.*

Así como en la ilustración 37 se pueden apreciar orificios en los rieles, en la ilustración 38 también se pueden apreciar los orificios por donde pasarán los tornillos de forma transversal para asegurar los soportes verticales a la base del sistema en la zona inferior de éste.

De igual forma, se observa que los soportes tienen un ángulo específico y dos orificios en la parte media. Dichos orificios se ubicaron a esa altura porque se usarán para fijar la base del motor a través de dos varillas tornadas y 4 tuercas. La altura a la que se encuentran es de 100mm, que es totalmente conveniente teniendo en cuenta que el largo de la hélice a usar es de 180mm aproximadamente. Es conveniente porque se debe tener en cuenta que la mitad de la hélice quedará en el medio de los orificios, con lo que se obtienen 20mm sobre el nivel de la superficie superior sin que la hélice choque o roce con ésta.

En las ilustraciones 40 y 41 se pueden observar las piezas ensambladas por medio del software Autodesk Inventor.

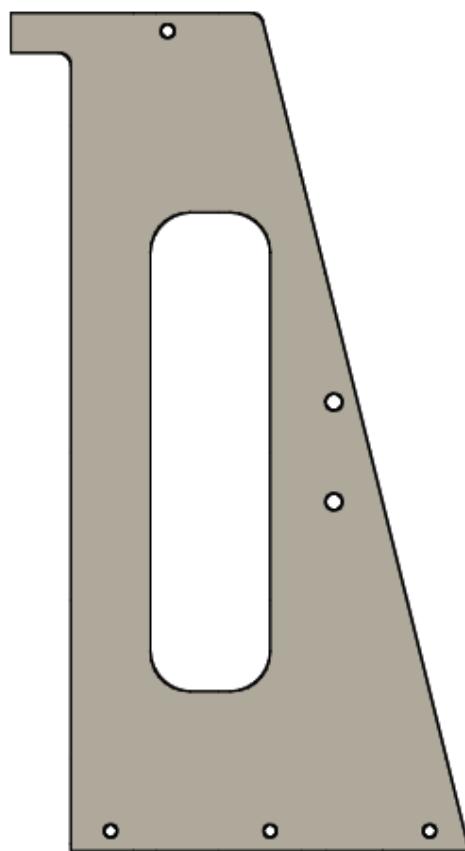


Ilustración 39. Modelo 3D de los soportes verticales del sistema de propulsión.

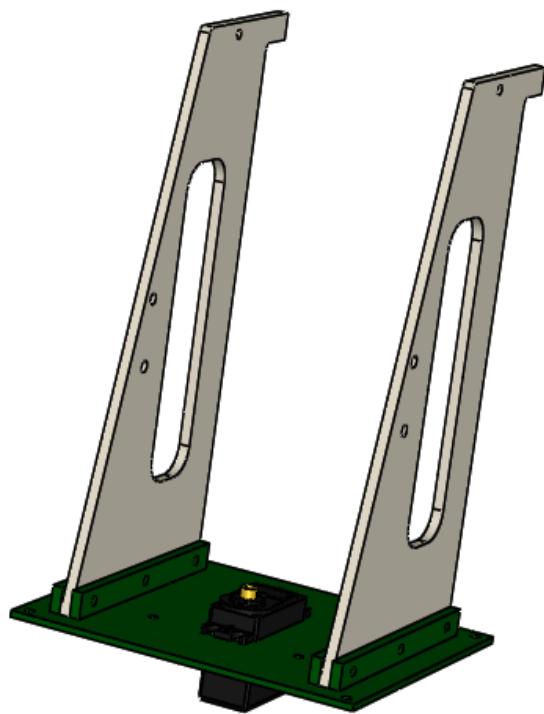


Ilustración 40. Ensamble de la base para el sistema de propulsión.

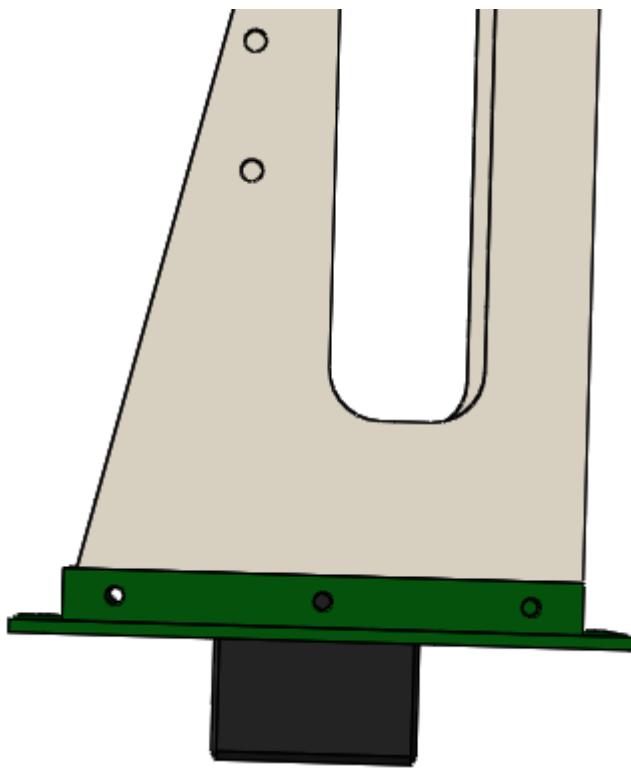


Ilustración 41. Orificios de los soportes verticales y la base del sistema de propulsión alineados.

Seguidamente se procedió a diseñar la base que sostendría al motor y que se ensamblaría con los soportes verticales mostrados en las ilustraciones 40 y 41. Esta base se diseñó teniendo en cuenta el ángulo de los soportes verticales y la distancia de los orificios para las varillas tornadas. La ilustración 42 muestra las dimensiones de la pieza y la ilustración 43 deja ver el ángulo de las piezas para el ensamble con los soportes verticales.

Así mismo, en la ilustración 44 se puede observar varios orificios en el medio de la pieza que coinciden con los orificios de los soportes verticales del sistema de propulsión para asegurar el motor a la pieza.

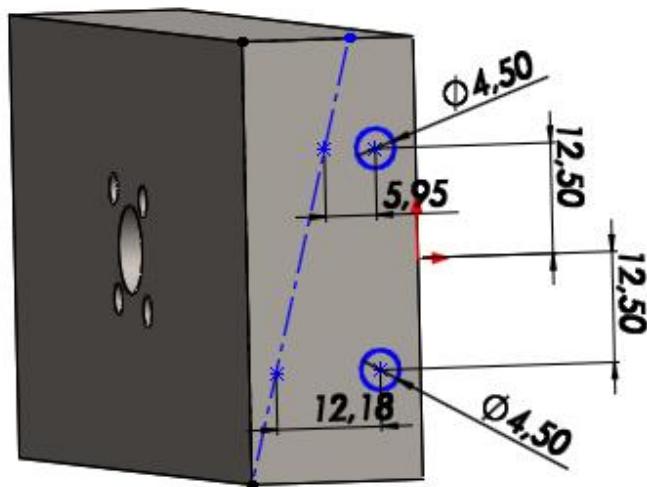


Ilustración 42. Base para motor brushless - orificios para varillas tornadas.

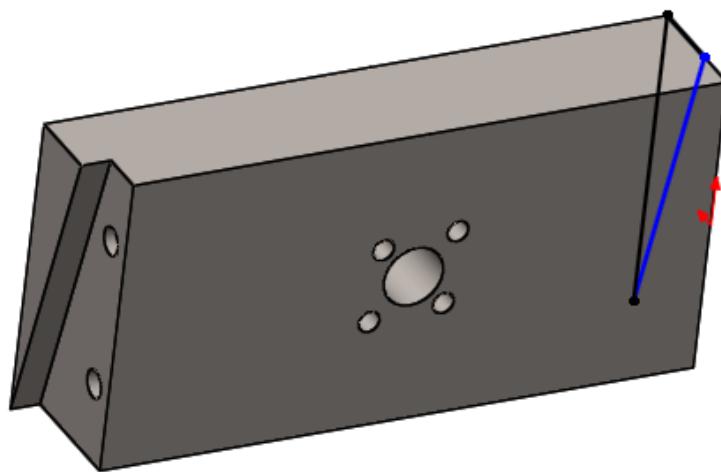


Ilustración 43. Ángulo para el acople con los soportes verticales del sistema de propulsión.

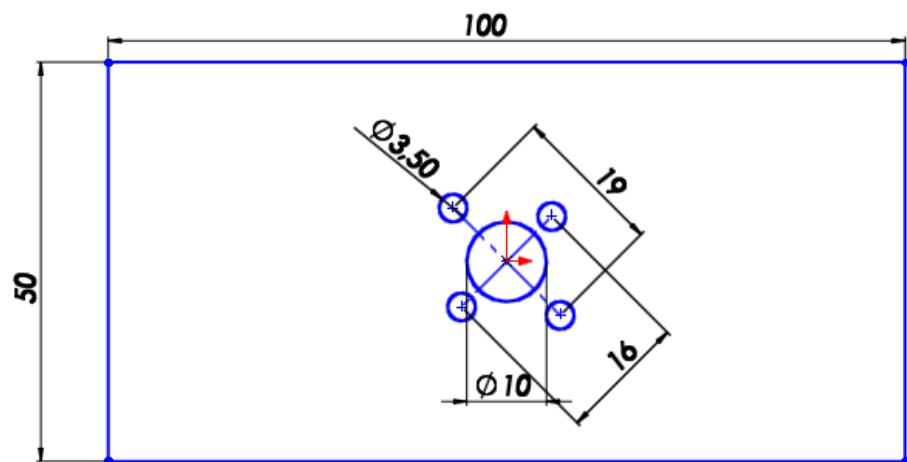


Ilustración 44. Dimensiones de los orificios para el acople del motor brushless.

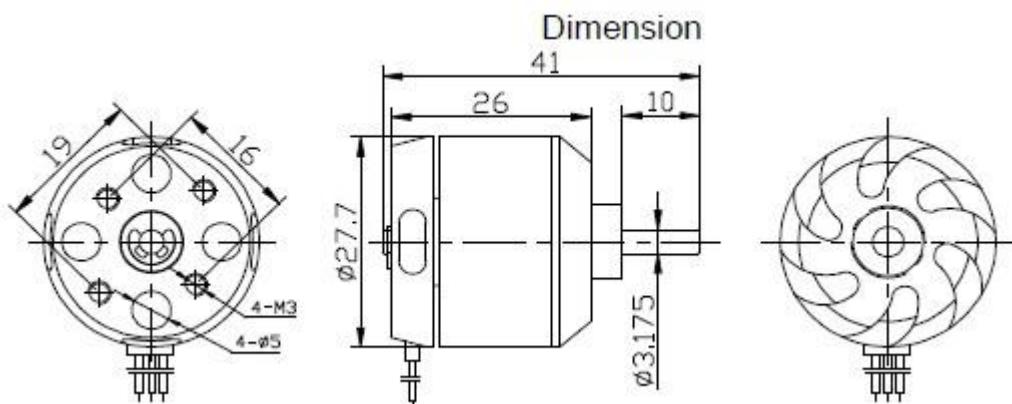


Ilustración 45. Dimensiones del motor brushless Turnigy 2826 [46].

Las dimensiones de los orificios para el motor brushless se extrajeron de la referencia que venían en él y que se pueden observar en la ilustración 45. La base para el motor se hizo con

un espesor de 20mm teniendo en cuenta que será la pieza que soportará todo el torque generado por el motor de forma directa.

La ilustración 46 deja ver el sistema la base del motor acoplada con los soportes verticales. Así mismo, en la ilustración 47 se puede observar todo el sistema de propulsión ensamblado. Las piezas traseras son las utilizadas para direccionar el viento por medio del servomotor para poder girar hacia la izquierda o la derecha.

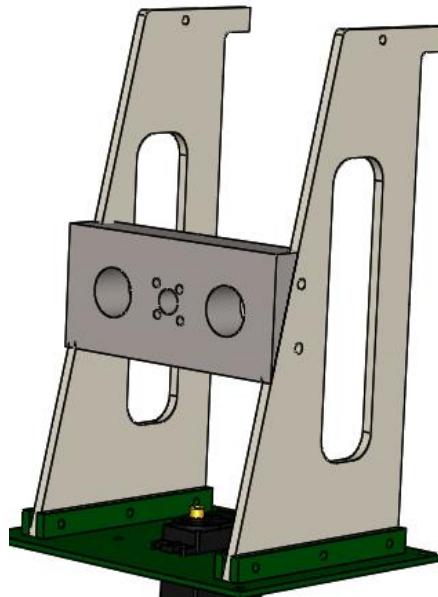


Ilustración 46. Ensamble de piezas para el sistema de propulsión.

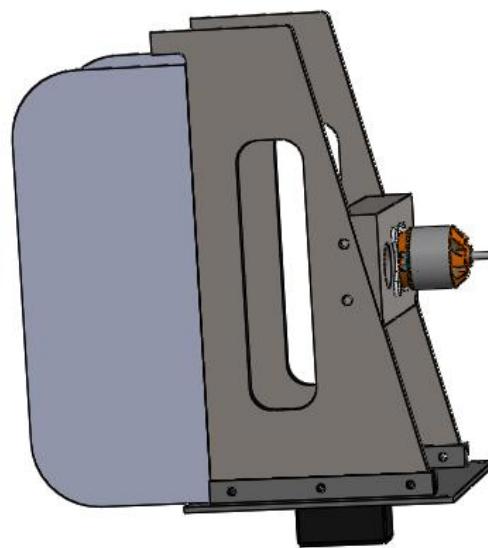


Ilustración 47. Ensamble completo del sistema de propulsión.

Como en el caso del servomotor, el modelo del motor brushless [47] que se utilizó, no se diseñó, sino que se descargó de internet a través de la plataforma Grabcad optimizando así, los tiempos de diseño y suprimiendo la actividad de toma de medidas de éste.

El uso del software Autodesk Inventor para el modelado 3D y ensamblaje de las piezas del USV, resulta importante porque permite anticiparse a posibles errores de fabricación de los componentes, así como también a los errores de diseño. Como se puede observar en las anteriores imágenes, utilizar el diseño 3D otorga una vista muy real de la estructura a fabricar, teniendo en cuenta las dimensiones de cada uno de los objetos y el volumen que ocupan en el espacio.

La ilustración 48, muestra un ensamblaje semicompleto del sistema de propulsión ajustado a las vigas internas y a la cuaderna principal del USV. Así mismo, la ilustración 49 deja ver el USV integrado con el sistema de propulsión. Hay que tener en cuenta que el sistema de propulsión del USV no estará acoplado de forma directa a la superficie superior de éste, sino que se acoplará a las vigas internas que, a su vez, se encuentran ensambladas a la cuaderna vertical principal. Esto se definió así, debido a que la superficie superior no tiene la capacidad de soportar fuerzas G por su bajo grosor y poca resistencia del material (madera balsa).

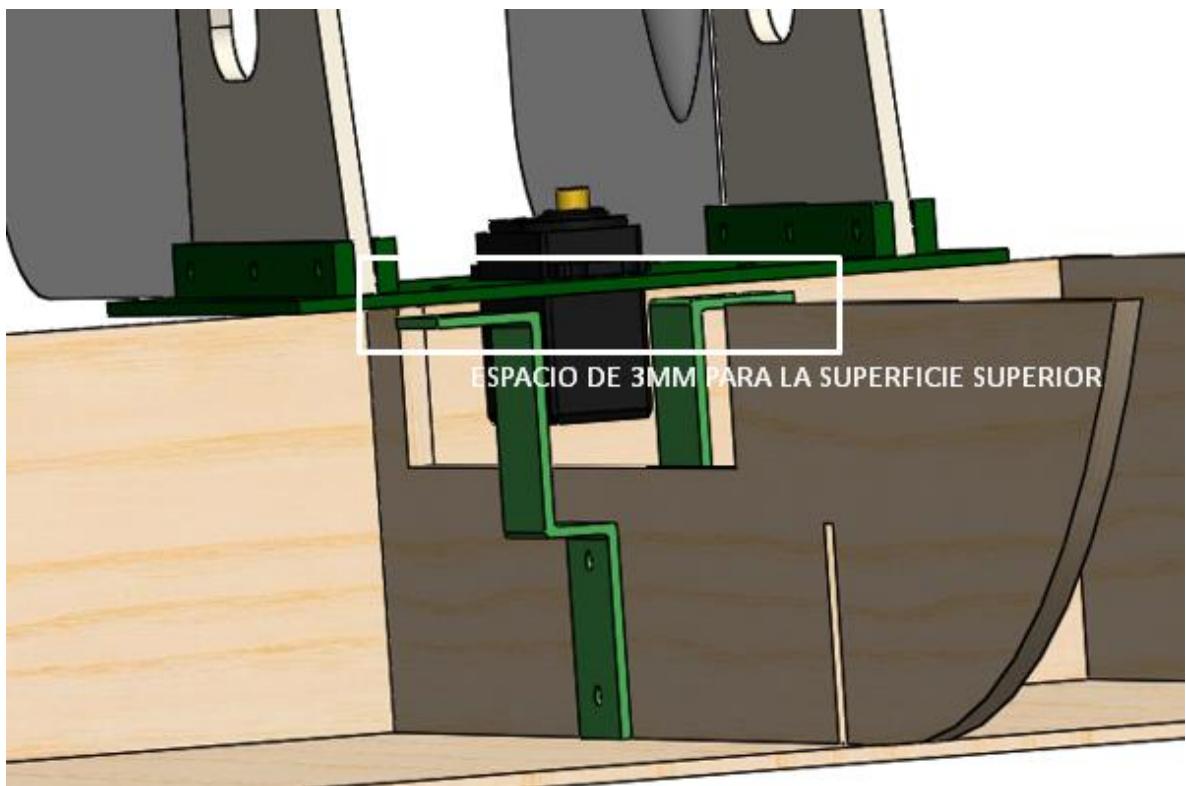


Ilustración 48. Sistema de propulsión ajustado a las vigas internas del USV.

Como se puede observar en la anterior imagen, las vigas internas poseen una forma de "Z" para ayudar a que el servomotor pueda encajar libremente en el espacio que hay entre ellas.

Si las vigas internas no tuvieran esta forma, sería difícil que el sistema de propulsión se acoplara a la cuaderna principal.

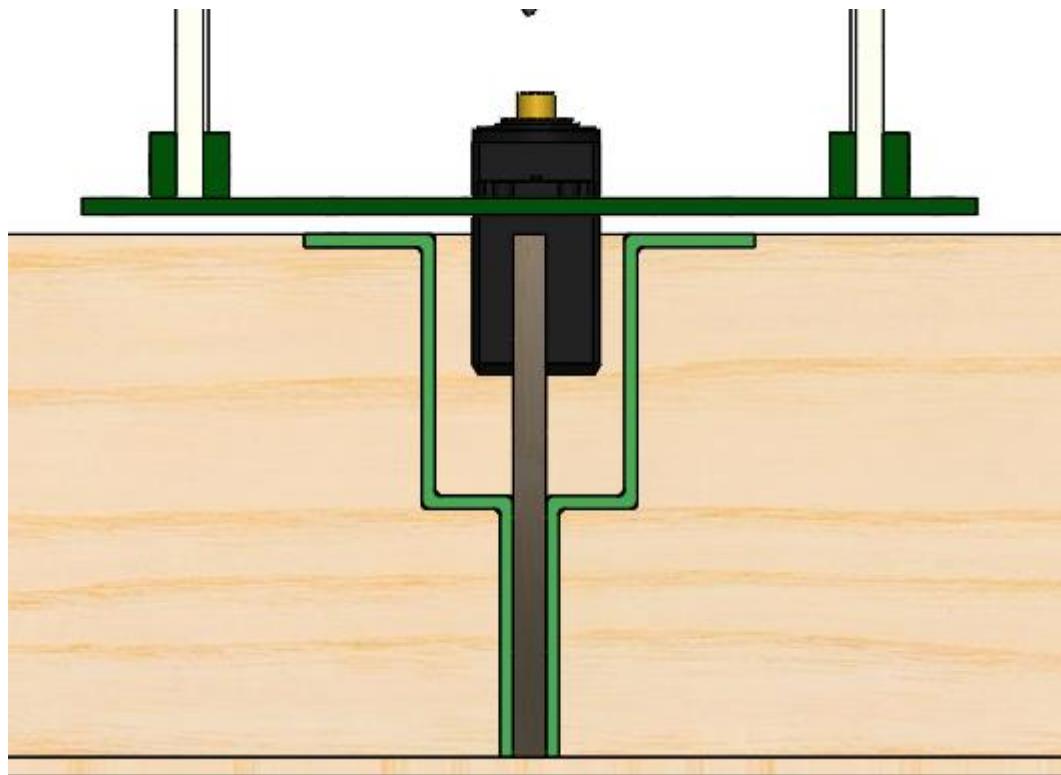


Ilustración 49. Imagen frontal del acople de las vigas internas con el sistema de propulsión.

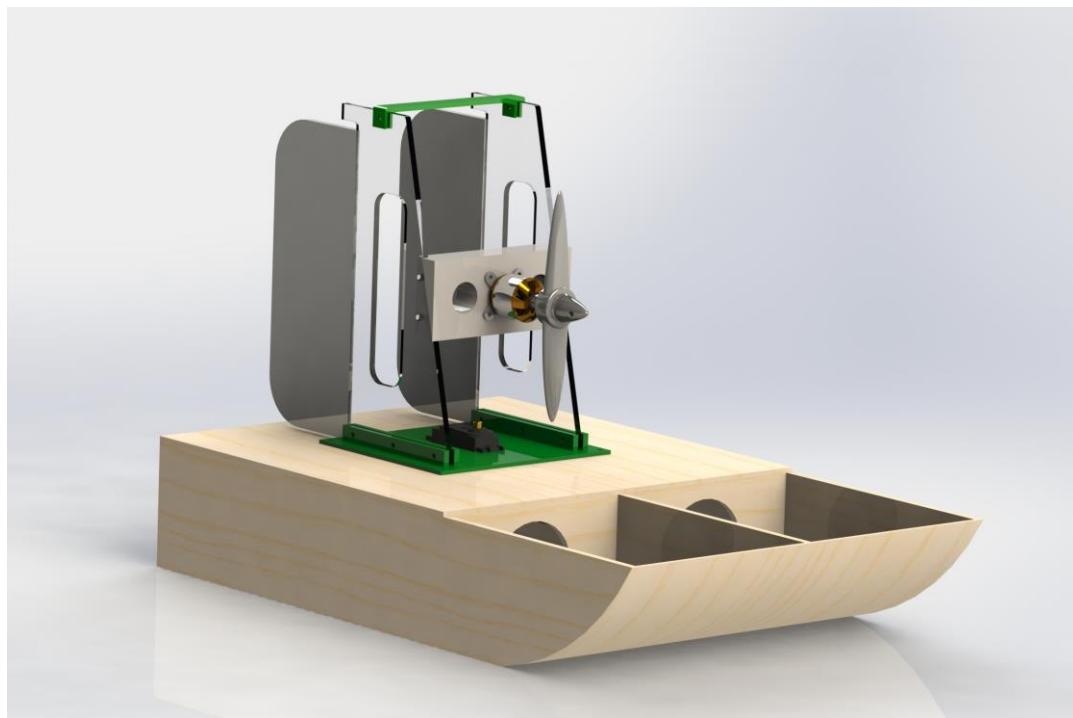


Ilustración 50. Render del USV con la estructura semifinalizada (los colores de los objetos fueron cambiados para poder visualizar mejor el ensamblaje de estos).

En la ilustración 49, se puede observar una pieza extra en la parte superior de los soportes verticales del sistema de propulsión, que se aprecia con más detalle en la ilustración 51. Dicha pieza sirve para darle mayor fuerza a los soportes verticales, previendo cualquier tipo de torsión en estos cuando los alerones se movieran para dirigir el viento generado por el motor.

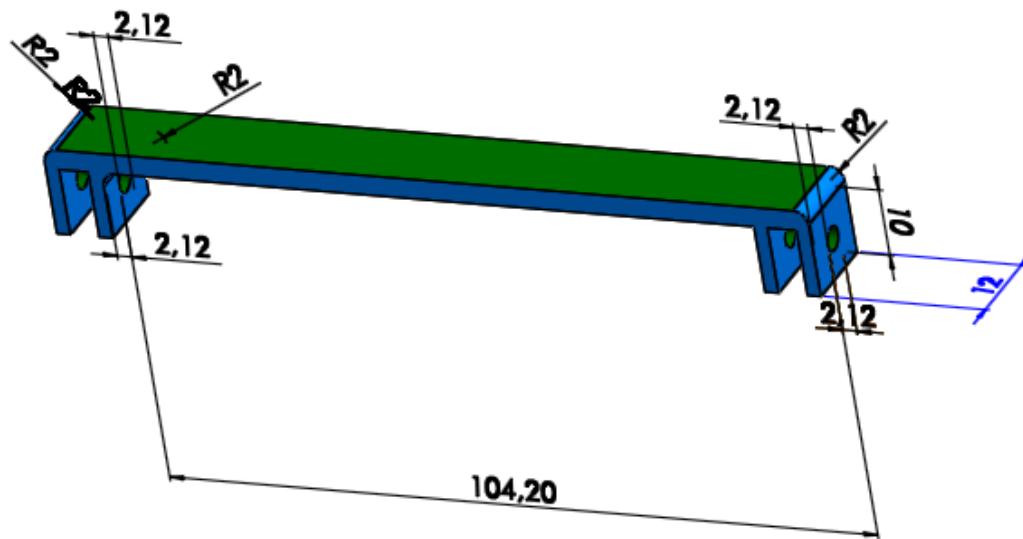


Ilustración 51. Pieza estabilizadora para los soportes verticales del sistema de propulsión.

Para finalizar con el diseño y, con fines de poder maniobrar las conexiones internas del USV, se realizó un orificio lo suficientemente grande para que cupiera un par de manos y así, verificar, manipular o conectar los dispositivos que se ubicarían en la parte interna del prototipo. El render de la ilustración 52 deja ver el orificio y el diseño del USV finalizado. Cabe resaltar que al orificio se le añadió una tapa posteriormente para que no quedara al descubierto la zona interna del bote.

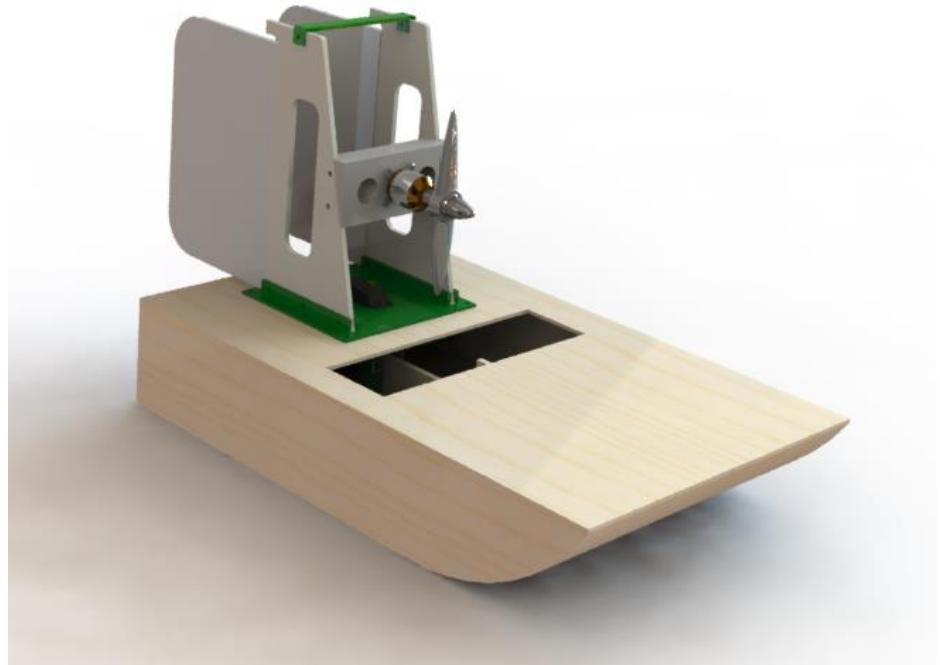


Ilustración 52. Render del USV finalizado.

## 4.2 Fabricación del prototipo

Una vez diseñado el modelo 3D del bote, se procede a la fabricación de éste empezando por el corte láser de las cuadernas principales, tanto internas como externas. Cabe resaltar, que a pesar de que las cuadernas son un objeto tridimensional en el modelo, para el corte láser solo se requiere una cara de estos modelos. Posteriormente, dicha cara se exporta a formato DXF y se procede a realizar el corte a láser. El espesor de las cuadernas, se determina por el espesor de la lámina de madera a cortar. En este caso, la madera utilizada fue madera balsa de 5mm de espesor por su ligereza y flotabilidad.

Este tipo de madera es muy utilizada en el modelismo naval y en el aeromodelismo para realizar la parte interna de los prototipos, se deja lijár, pulir y cortar a mano, pero para efectos de precisión en los cortes, se decidió un corte a láser. La ilustración 53 muestra una lámina de madera balsa que se puede conseguir en cualquier papelería.



Ilustración 53. Láminas de madera balsa [48].

Posterior al corte láser de la madera, se procedió a realizar el corte láser de los soportes verticales del sistema de propulsión. Estos soportes se decidieron fabricar en acrílico de 4mm de espesor porque otorgaban mayor rigidez que la madera y el material posee cierto grado de flexibilidad para soportar las fuerzas G producidas por el motor.

En la ilustración 52, se puede apreciar la pega de las piezas de madera y una franja marrón oscura en los bordes de las cuadernas muy característica del láser cuando corta y quema la madera.



*Ilustración 54. Fabricación de la superficie flotante del USV en madera.*

Al finalizar con la pega de las piezas de madera, se procedió a fabricar las piezas que no podían cortarse a láser por la complejidad de las formas. Éstas son: la base del sistema de propulsión, la base del motor, el estabilizador superior para los soportes verticales del sistema de propulsión y las vigas internas en forma de “Z”.

Para empezar con la impresión de los componentes antes mencionados; a diferencia del corte láser, se hace necesario exportar los modelos 3D de dichos archivos, a un formato STL para que el software de impresión 3D los pueda reconocer. En este caso, el software de impresión 3D usado para la preparación de la impresión 3D fue “Simplify 3D” [49]. Este software permite tener un control completo del proceso de impresión 3D otorgando grandes ventajas frente a softwares libres como “Cura [50]” o “Repetier Host [51]” muy reconocidos mundialmente.

La ilustración 55 muestra una imagen del modelo de la base para el sistema de propulsión preparado para la impresión 3D desde el software Simplify 3D. Para la fabricación de los componentes, se utilizó material plástico PLA (ácido poliláctido) de color verde por su dureza y baja contaminación.

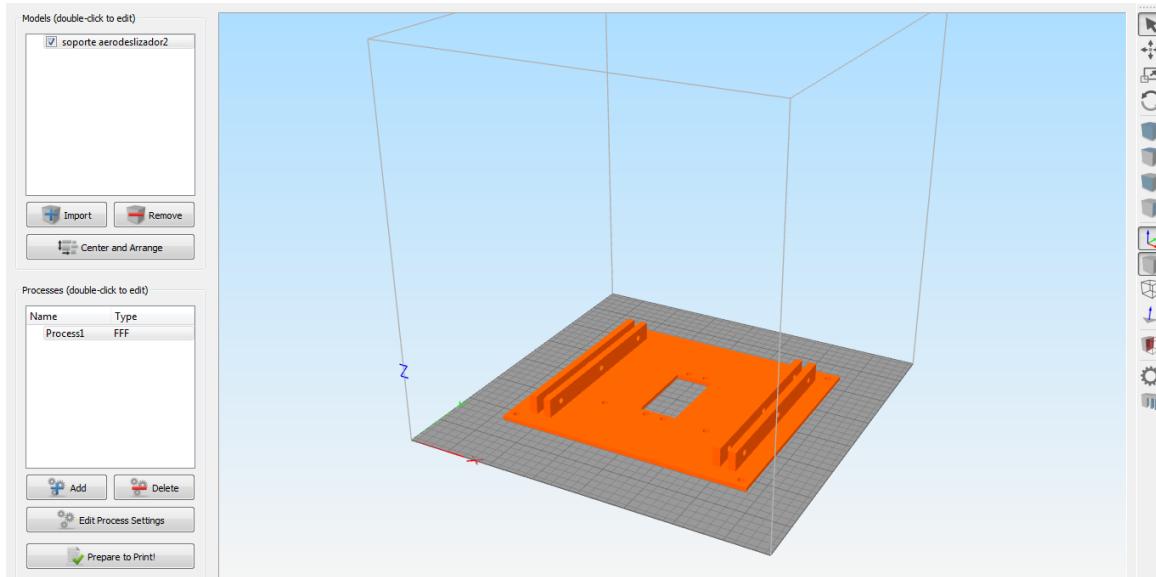


Ilustración 55. Preparación de la base del sistema de propulsión para impresión 3D.

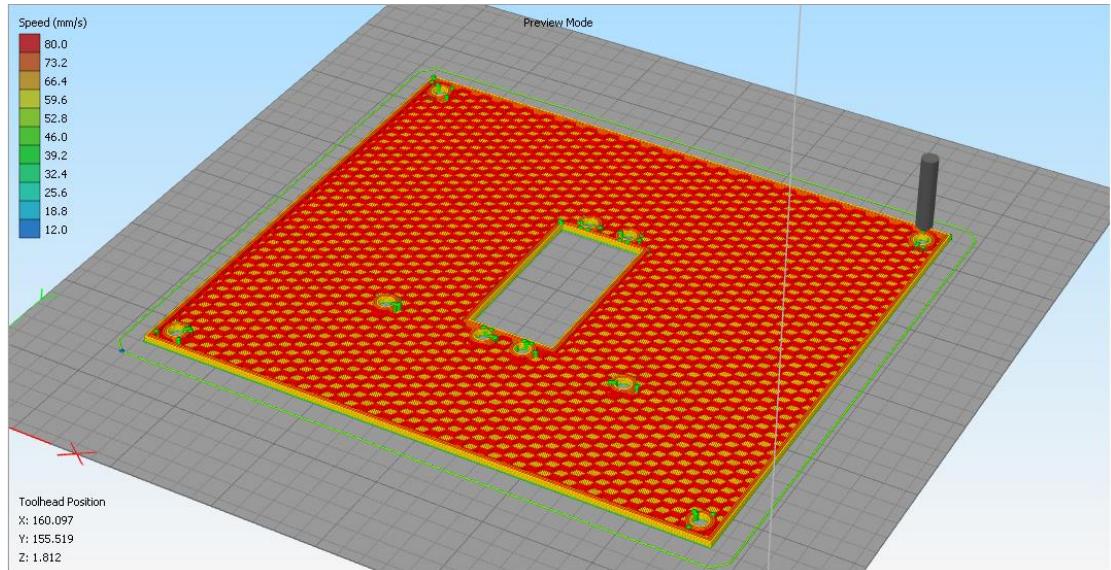


Ilustración 56. Relleno interno de la base para el sistema de propulsión.

Para la impresión de los componentes mencionados anteriormente, se utilizaron las siguientes configuraciones de impresión:

- Alto de capa: 0.25mm
- Espesor de capa: 0.42mm
- Velocidad de impresión 60mm/s.
- Temperatura del extrusor: 195°C.

- Temperatura de la cama caliente: 60°C.

El archivo GCODE, así como el archivo STL y el archivo de SolidWorks, se adjuntan en los anexos.

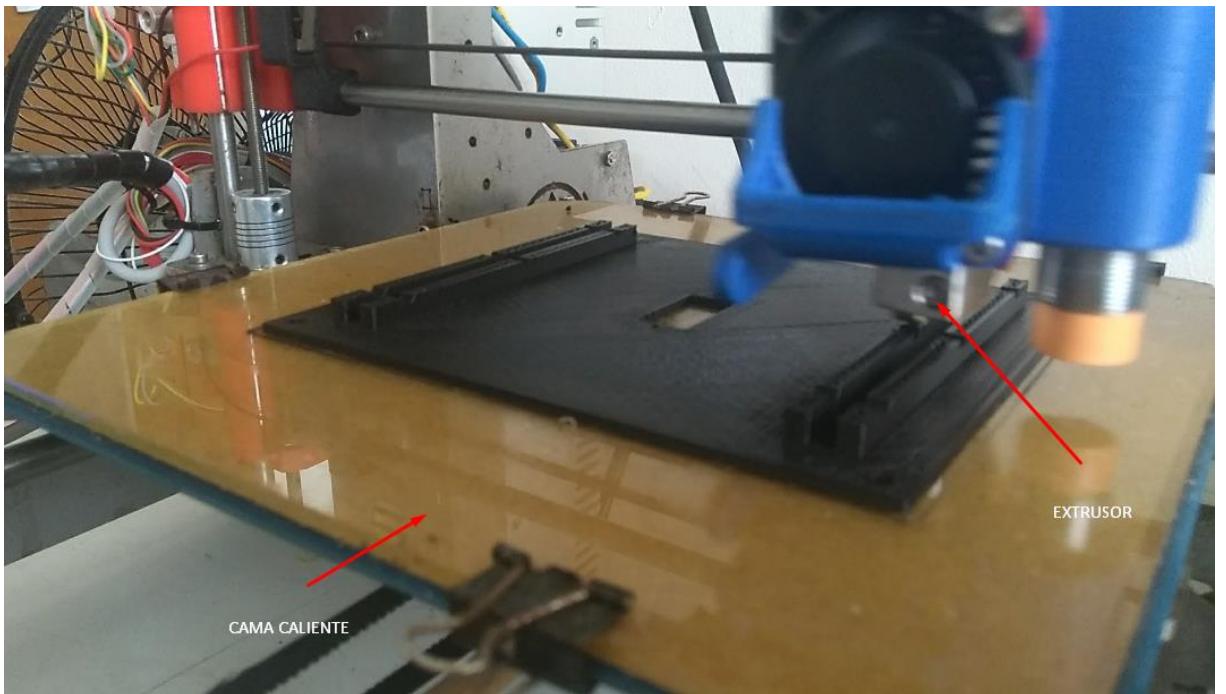


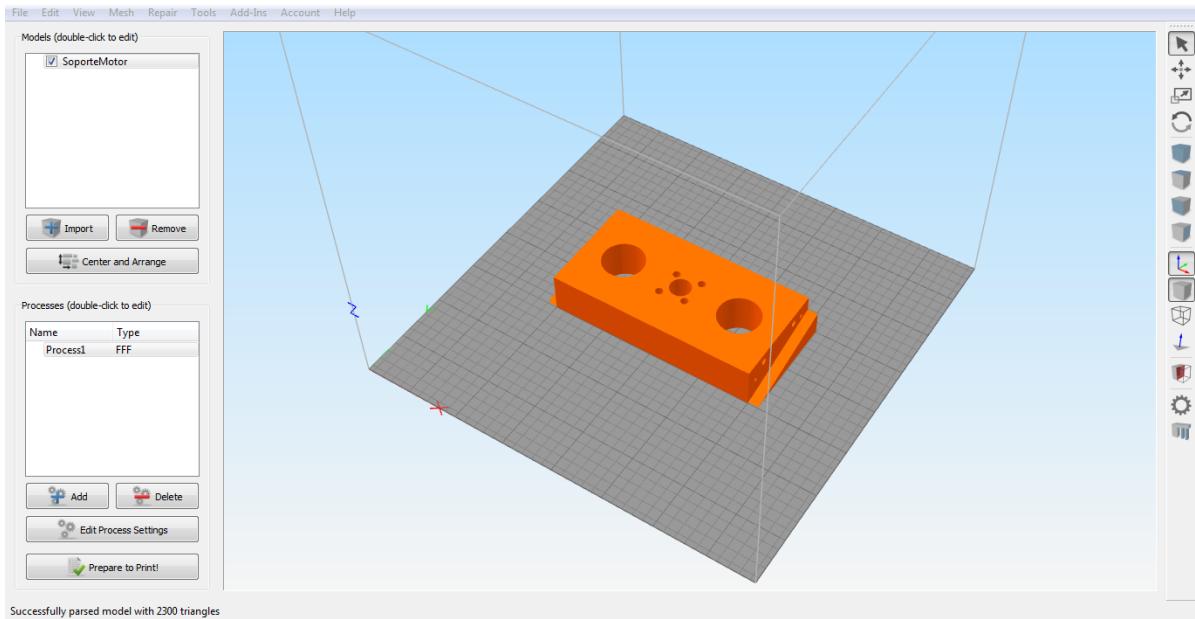
Ilustración 57. Impresión 3D de la base del sistema de propulsión.

Luego de imprimir la base del sistema de propulsión, se procedió a preparar la impresión del soporte para el motor. Como ya se había mencionado antes, esta pieza debía fabricarse de tal forma que pudiera soportar todo el torque y la fuerza G producida por el motor brushless, por ende, y a diferencia de la base anterior, el soporte del motor se imprimió con las siguientes configuraciones:

- Alto de capa: 0.2mm.
- Espesor de capa: 0.42mm.
- Velocidad de impresión: 60mm/s.
- Temperatura de extrusor: 200°C.
- Temperatura de cama caliente: 60°C.
- Material: PLA

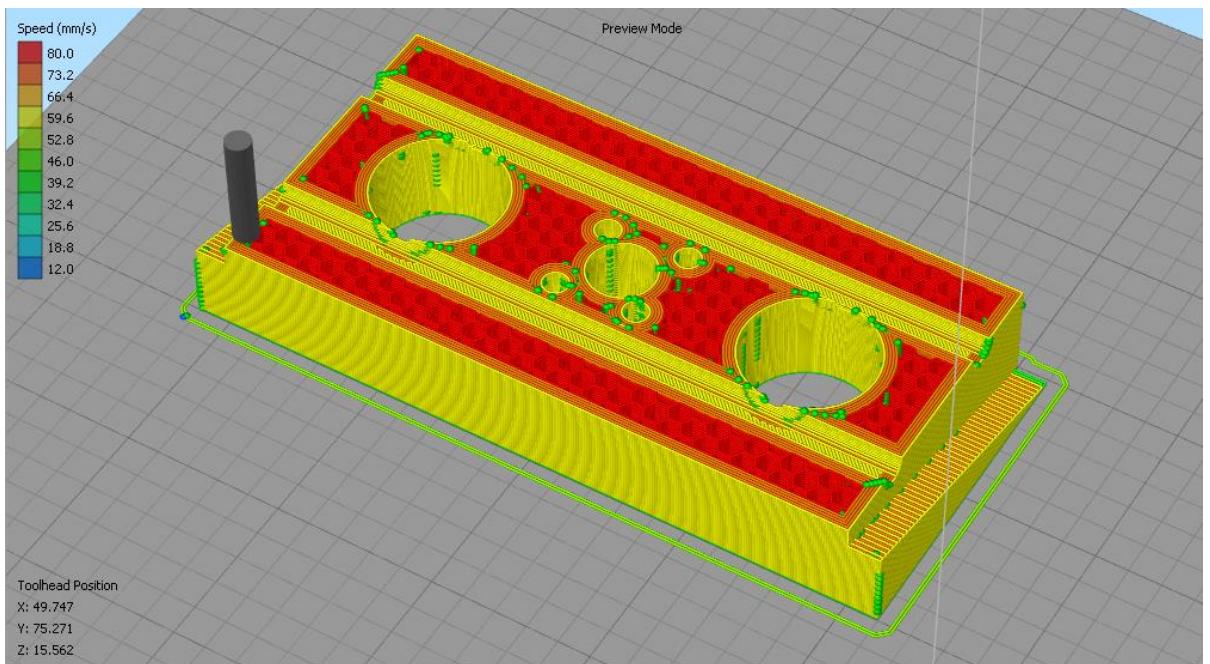
La ilustración 58 muestra el preparado de la pieza para la impresión. Así mismo, las ilustraciones 59 y 60, dejan ver la pieza preparada para la impresión y el proceso de impresión 3D de la misma.

Los diferentes colores de la pieza que se aprecian en la preparación de la impresión, obedecen a las diferencias entre las velocidades del proceso de relleno y el proceso de extrusión de las capas externas.



*Ilustración 58. Preparación del modelo 3D de la base del motor para la impresión 3D.*

En la parte izquierda superior, se puede observar que las líneas rojas fueron impresas a una velocidad promedio de 80mm/s, mientras que las líneas externas se imprimieron a una velocidad de 60mm/s en promedio. La combinación de las diferentes velocidades de impresión se debe a que algunas partes de la pieza necesitan mayor precisión que otras al ser extruidas. Luego, a menor velocidad de impresión, mayor precisión en la fabricación de la pieza.



*Ilustración 59. Base del motor preparada para la impresión 3D.*

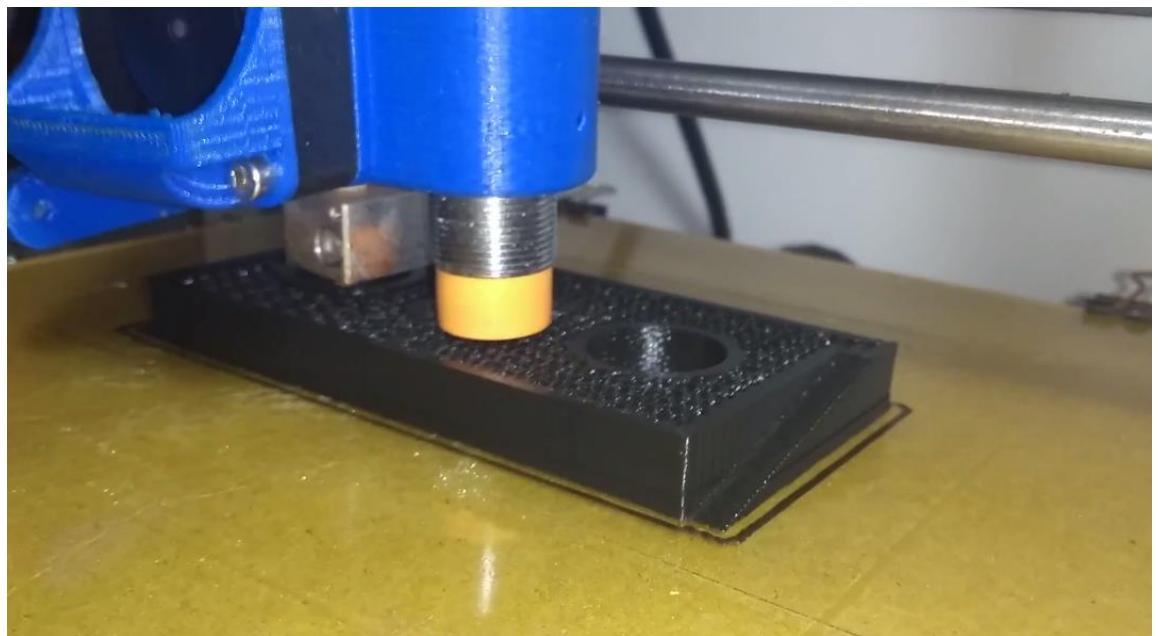


Ilustración 60. Proceso de impresión 3D de la base para el motor.

Continuando con el proceso de impresión de las piezas, se prepararon los modelos de las vigas internas tal como lo muestra la ilustración 61 utilizando las siguientes configuraciones:

- Alto de capa: 0.25mm.
- Espesor de capa: 0.42mm.
- Velocidad de impresión: 50mm/s.
- Temperatura de extrusor: 195°C.
- Temperatura de cama caliente: 60°C.
- Material: PLA.

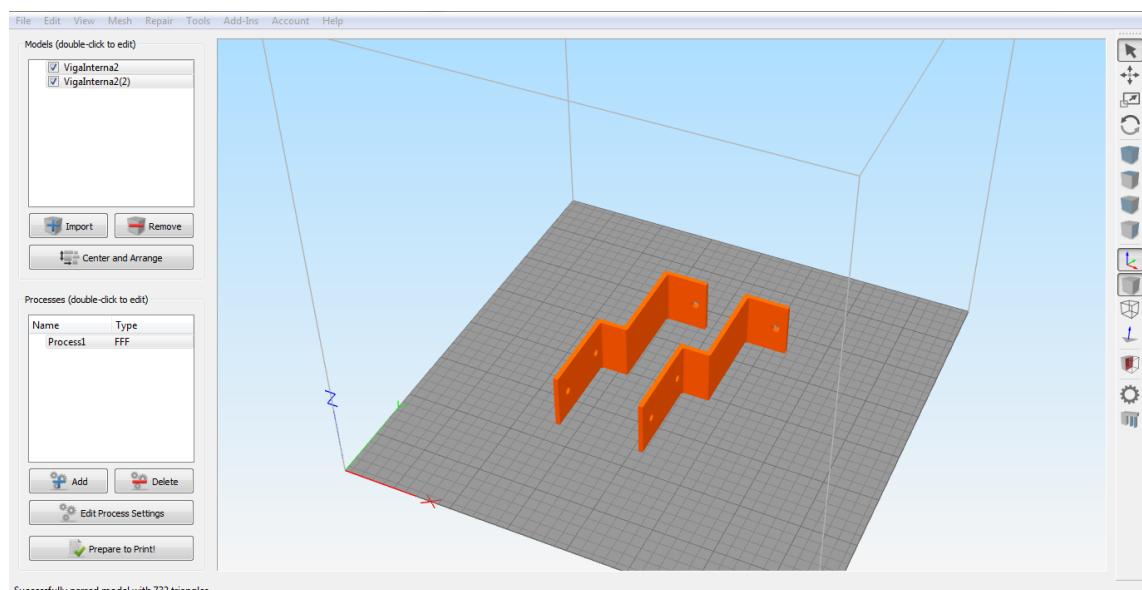


Ilustración 61. Preparación de las vigas internas para impresión 3D.

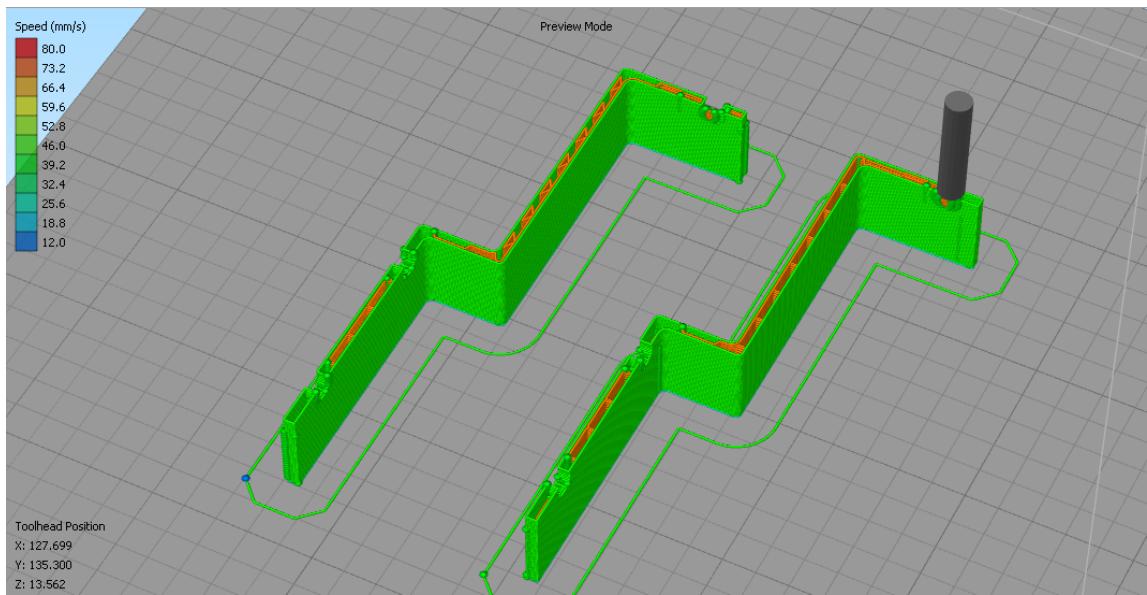


Ilustración 62. Piezas preparadas para impresión 3D.

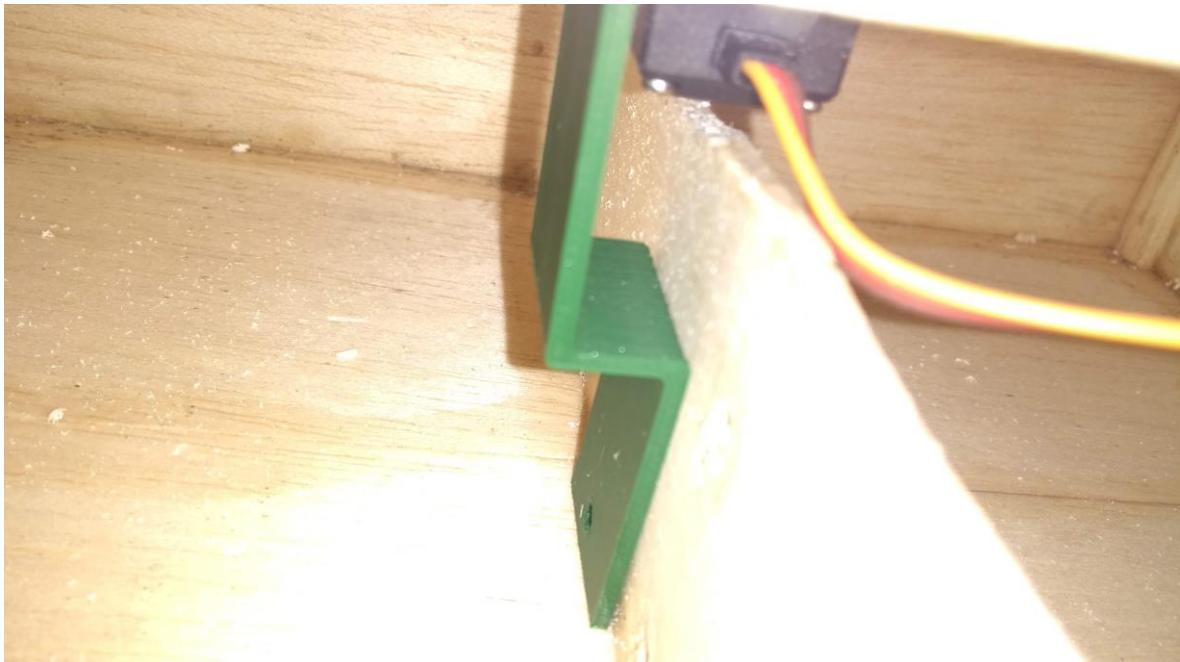


Ilustración 63. Viga interna fabricada.

Una vez fabricadas las piezas, se procedió al ensamble de todos los componentes, empezando por el sistema de propulsión. Las siguientes ilustraciones, muestran el proceso de ensamble de los componentes.

Cabe resaltar que previo al ensamble de los componentes tanto electrónicos como mecánicos, toda la superficie del USV fue cubierta con barniz y una pintura de aceite amarilla, tanto en la parte externa como en la parte interna, para proteger a la madera balsa del agua, debido a que, al entrar en contacto con el líquido, se dañaría y causaría filtraciones de agua que podían degenerar fácilmente el sistema electrónico interno del prototipo. Posterior a la barnizada de la madera, se procedió a cubrirla con papel adhesivo de vinilo, color rojo.

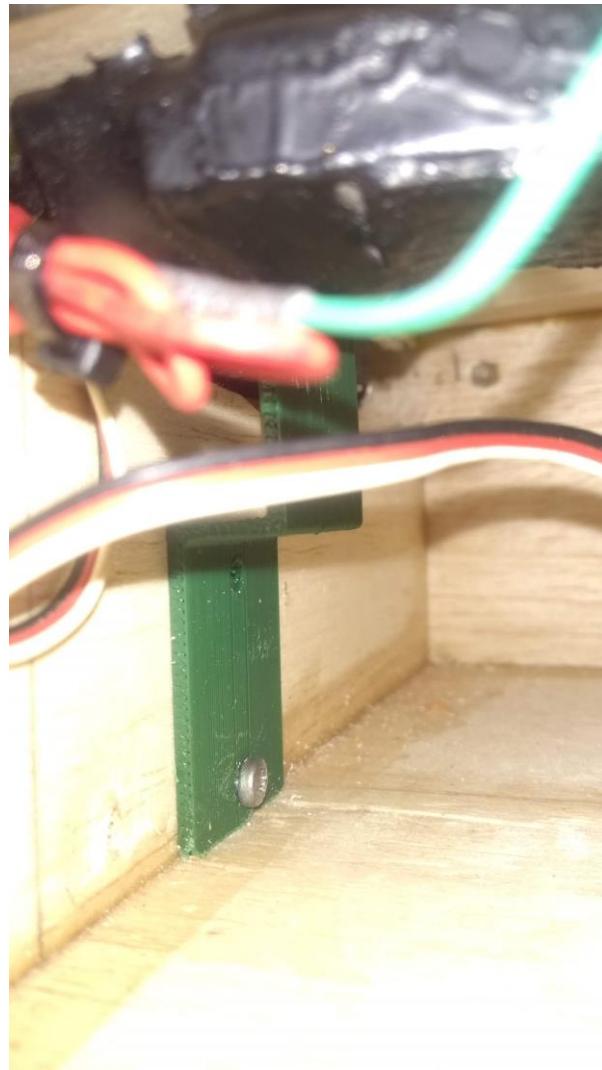


Ilustración 64. Ensamble de las vigas internas a la cuaderna principal del USV.



Ilustración 65. Barniz amarillo y forraje del USV con papel adhesivo vinilo de color rojo.

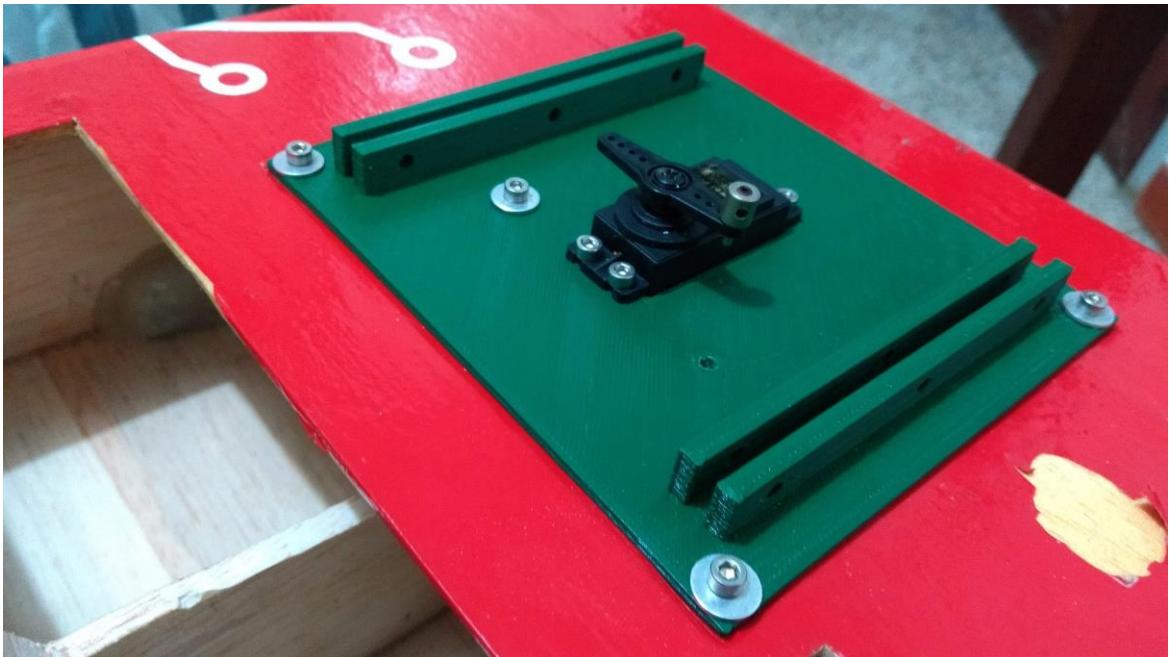


Ilustración 66. Ensamble de la base del sistema de propulsión con el servomotor TowerPRO MG995

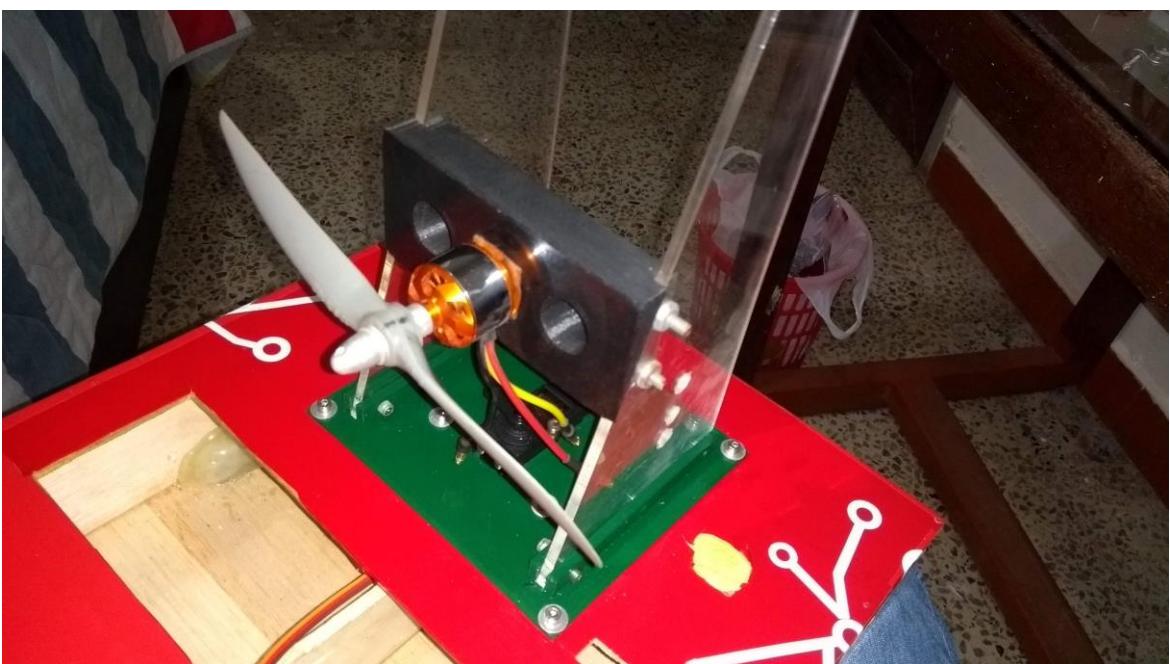


Ilustración 67. Ensamble del sistema de propulsión semicompleto.

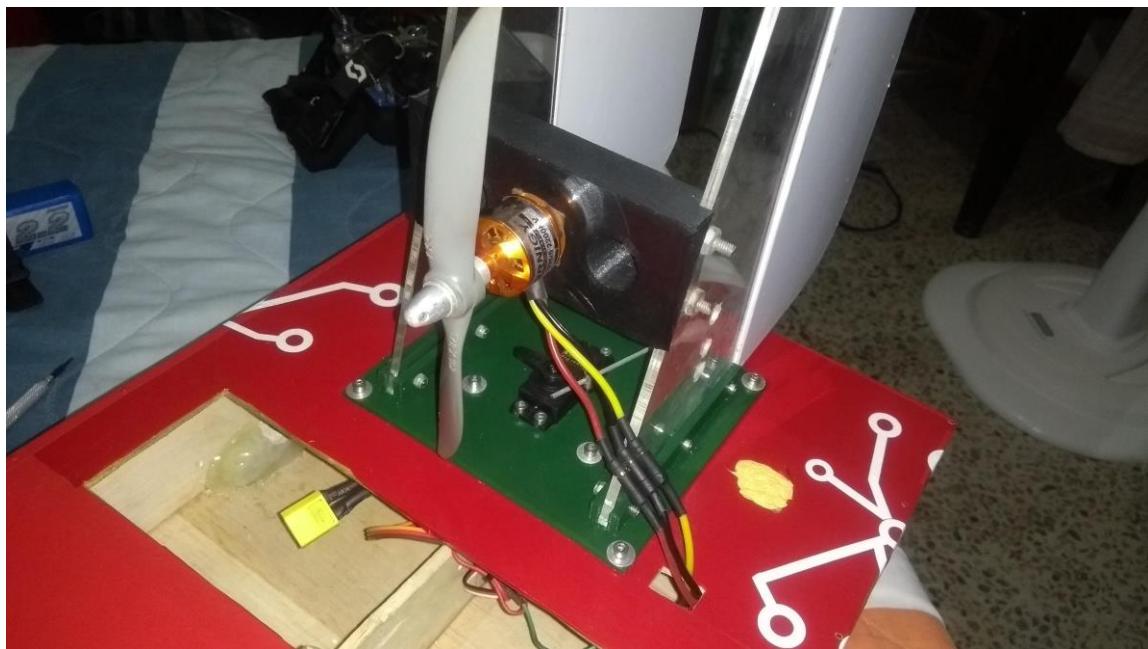


Ilustración 68. Ensamble del sistema de propulsión completado.



Ilustración 69. USV con sistema electrónico de propulsión y sistema de propulsión ensamblado.

Así mismo, el sistema de direccionamiento del viento conformado por los alerones y el servomotor se puede apreciar de mejor forma en la ilustración 70.

Para la transmisión del torque del servomotor hacia los alerones, se ha utilizado una varilla de 1.5mm de diámetro con 65mm de largo. Además de esto, se utilizó un conector E-Z [52] para

el acople de la varilla al brazo del servomotor, y una horquilla de nylon [53] para el acople al “control horn [54]” del alerón.

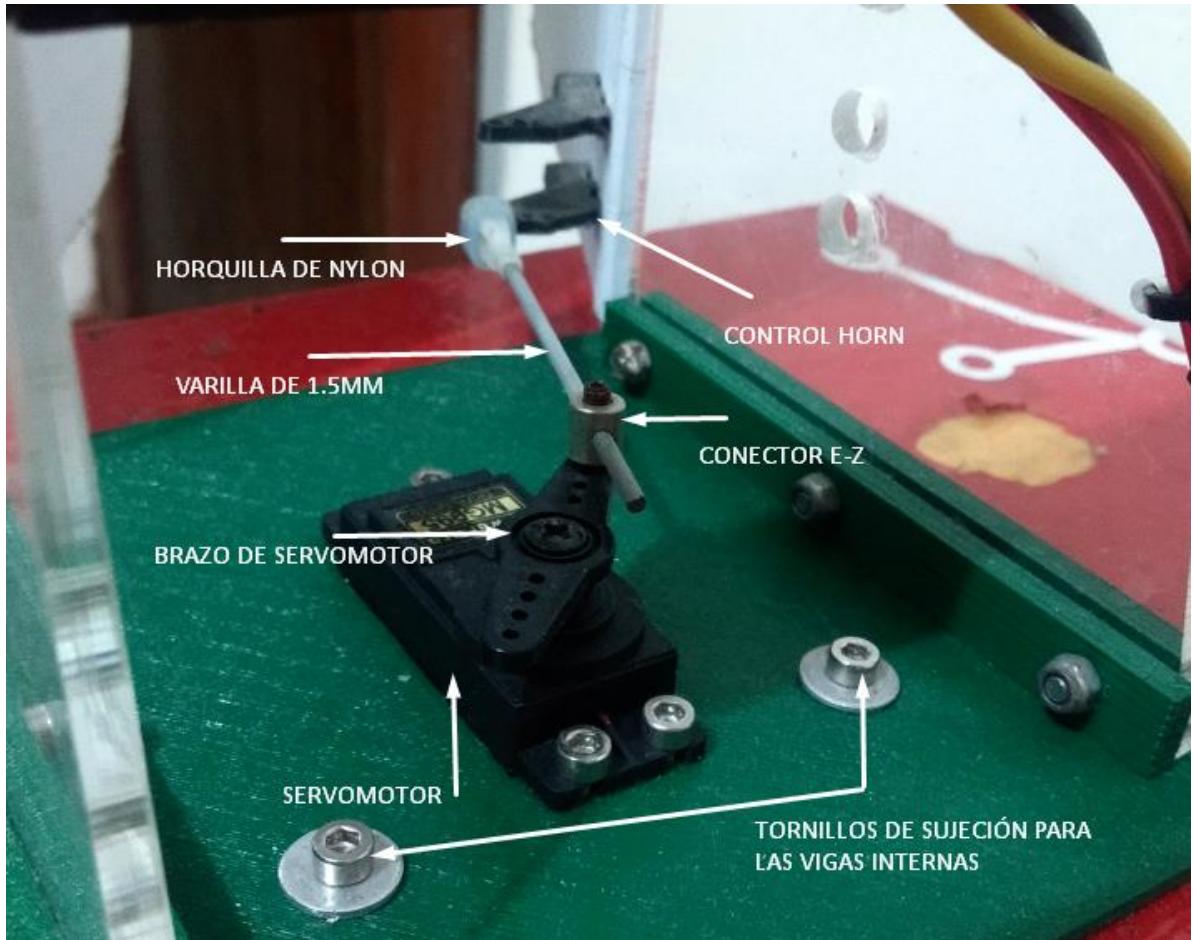


Ilustración 70. Partes del sistema de propulsión para el direccionamiento del viento.



Ilustración 71. Vista trasera del USV totalmente ensamblado.

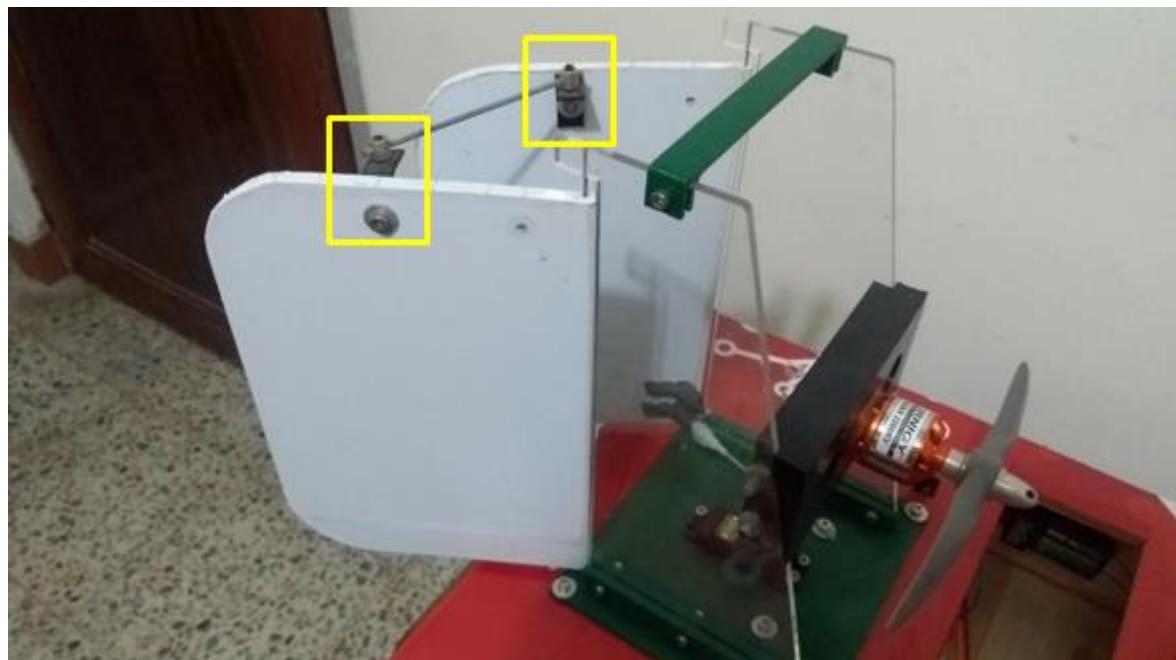


Ilustración 72. Sistema de propulsión del USV direccionando el viento hacia la derecha.

En la ilustración 72 se puede apreciar un sistema del que no se había hablado anteriormente. Este sistema se encuentra señalado por los cuadros amarillos de la imagen y se utilizan para transmitir el movimiento generado por el servomotor para el direccionamiento del viento desde el alerón izquierdo hasta el alerón derecho. El sistema está conformado por:

- Dos tornillos de 8mm de largo y 3mm de ancho.
- Dos tuercas de 3mm para los tornillos
- Cuatro arandelas 3mm.
- Una varilla de 1.5mm igual a la de la ilustración 70.
- Dos conectores E-Z iguales a los de la ilustración 70.
- Dos piezas de plástico llamadas soportes direccionales.

Estas últimas piezas se pueden apreciar en la ilustración 73. Así mismo, en las ilustraciones 74 y 75 se puede observar el diseño 3D y la preparación para la impresión 3D.



Ilustración 73. Soporte direccional del alerón derecho.

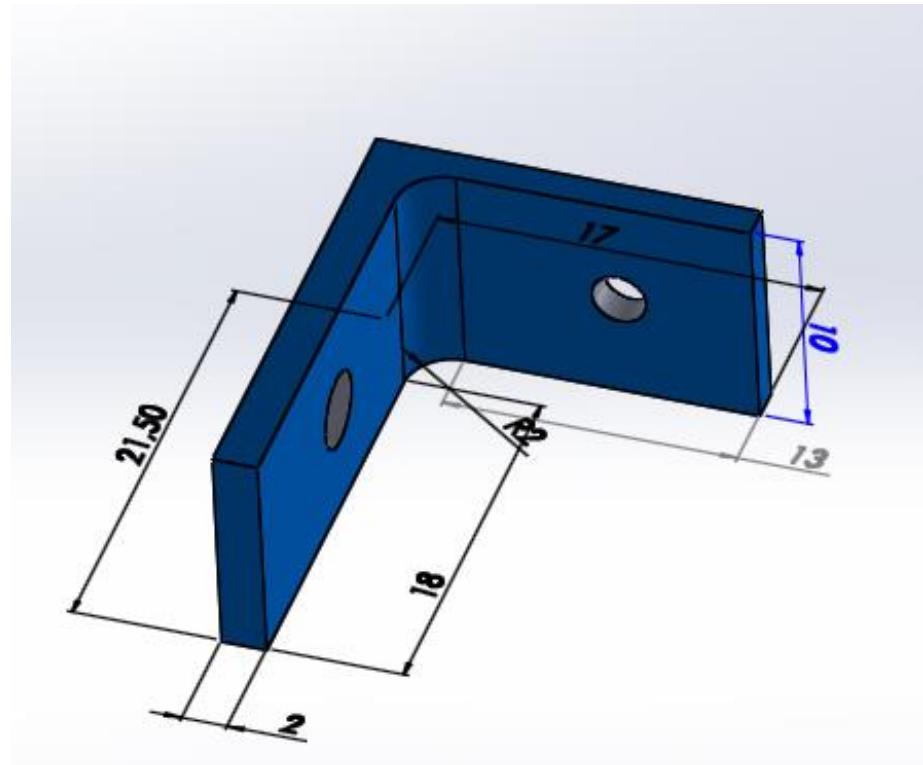


Ilustración 74. Diseño del soporte direccional.

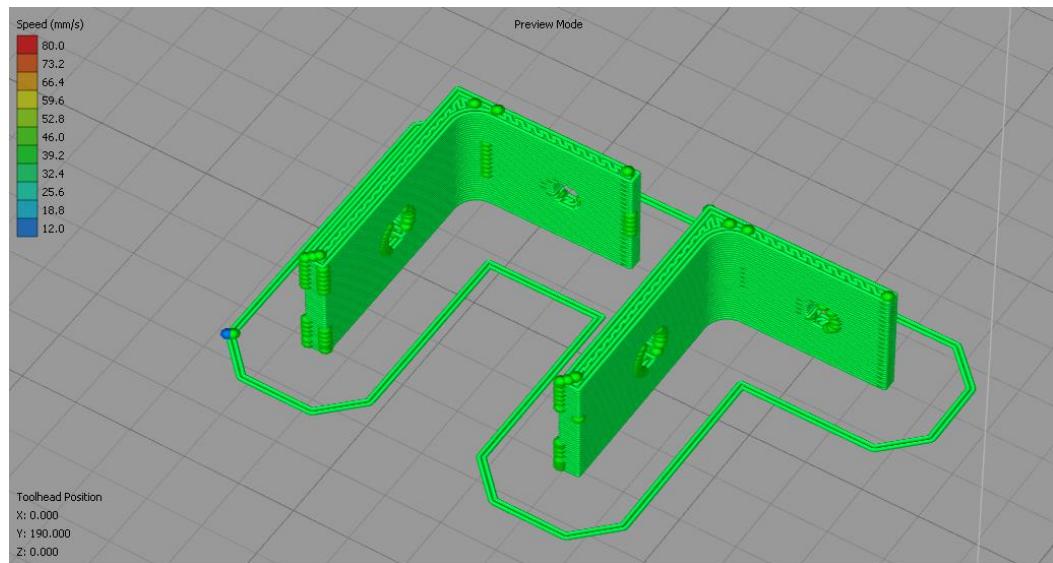


Ilustración 75. Soportes direccionales preparados para impresión 3D.

Los parámetros de impresión 3D usados para los soportes direccionales fueron los siguientes:

- Alto de capa: 0.25mm.
- Espesor de capa: 0.42mm.
- Velocidad de impresión: 40mm/s.
- Temperatura de extrusor: 190°C.
- Temperatura de cama caliente: 60°C.
- Material: PLA

Con las piezas anteriormente mencionadas construidas e instaladas en el sistema, se finalizó la fabricación del hardware del USV logrando el resultado de la ilustración 69. A continuación, se procedió a trabajar en la instalación de los componentes para el reconocimiento de los residuos sólidos flotantes.

Para lo anterior, se tomó un estuche plástico hermético similar al de la ilustración 76 y se le hicieron las perforaciones pertinentes para alojar en él los componentes del sistema de reconocimiento y los componentes de la transmisión de video en tiempo real FPV.



*Ilustración 76. Estuche hermético plástico contenedor de los componentes del sistema de reconocimiento y el sistema de transmisión de video en tiempo real.*

Para empezar, en la parte interna de la tapa del dispositivo se instaló el GPS con la antena tal como muestra la ilustración 77. Seguidamente se midieron los orificios de cada uno de los dispositivos y se marcaron los lugares donde se perforarían. Al finalizar las perforaciones, se instalaron los dispositivos con ayuda de tornillos tipo Allen de largos variados, pero de un mismo diámetro, ajustándolos con tuercas de 3mm.



Ilustración 77. Instalación del GPS y su antena en la parte interna de la tapa del contenedor.

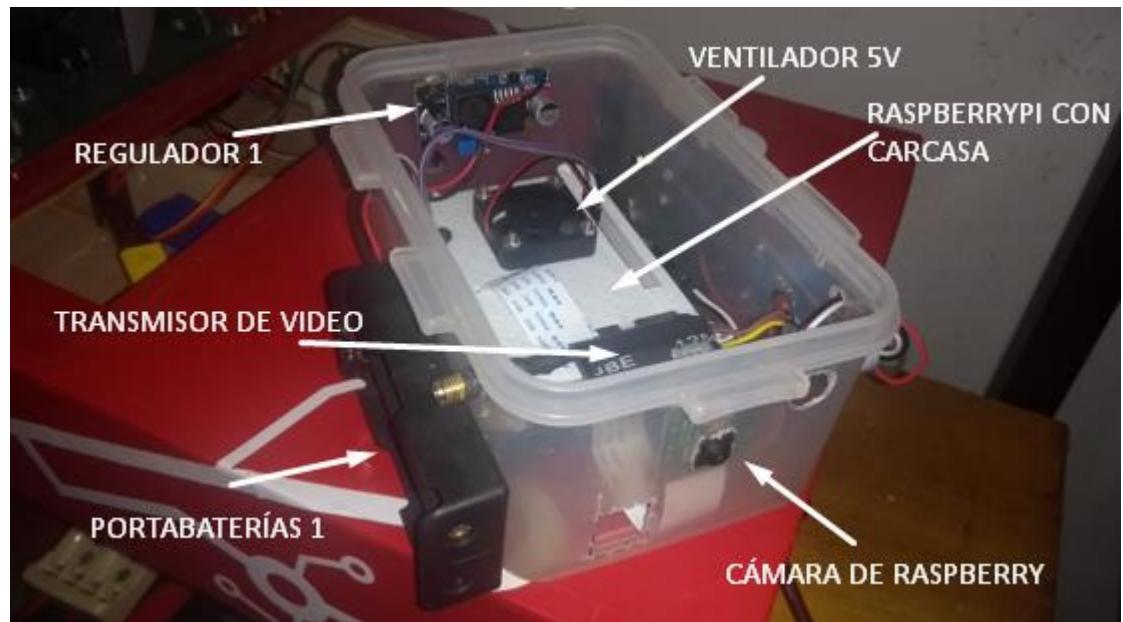


Ilustración 78. Ensamble de dispositivos para los sistemas de reconocimiento y FPV.

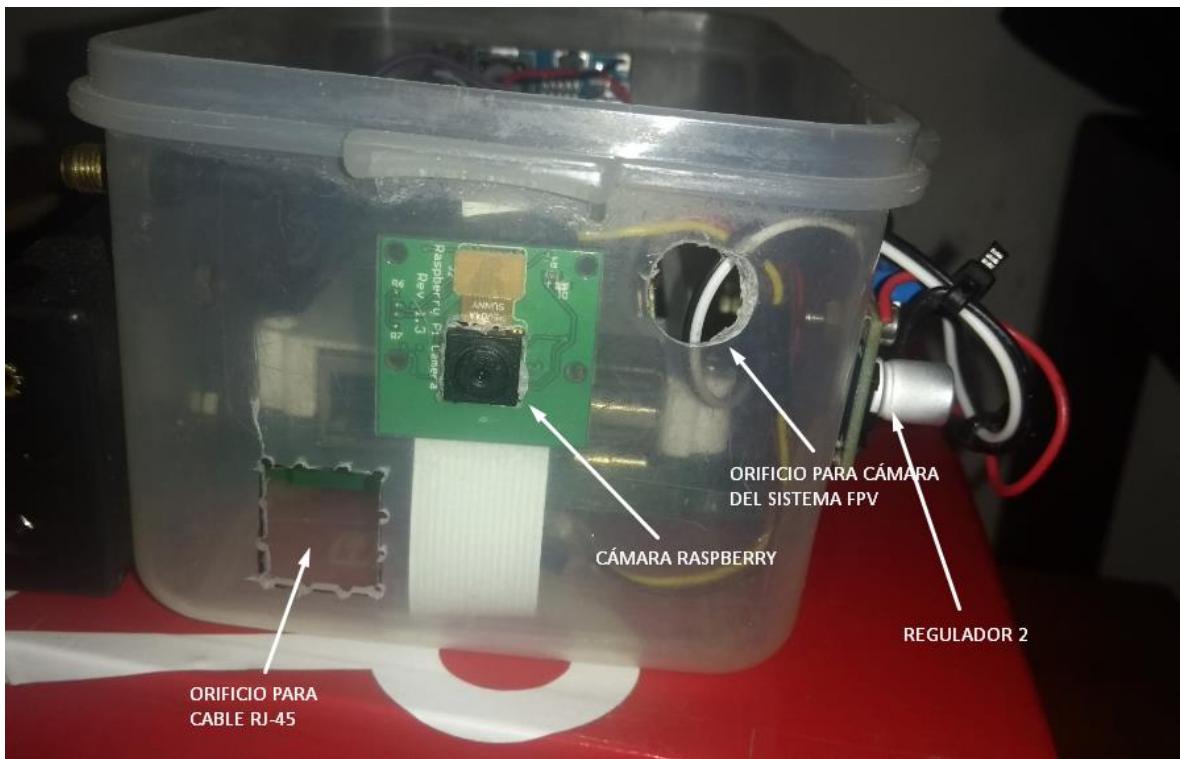


Ilustración 79. Ensamble y orificios de dispositivos del USV.



Ilustración 80. Cámara instalada para el sistema FPV.

Para finalizar con la instalación del contenedor de los sistemas de reconocimiento y vista en primera persona (FPV), se diseñó y fabricó un último componente que serviría para acoplar el contenedor plástico al USV. Este componente se puede apreciar en la Ilustración 81 con sus medidas y forma tridimensional. Así mismo, en las Ilustraciones 82 y 83 se pueden observar el proceso de preparación para impresión 3D y la figura preparada para impresión 3D.

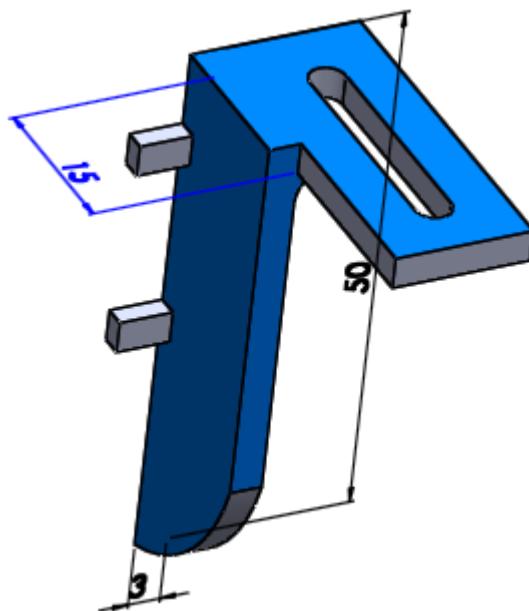


Ilustración 81. Imagen 3D - Soporte para contenedor plástico.

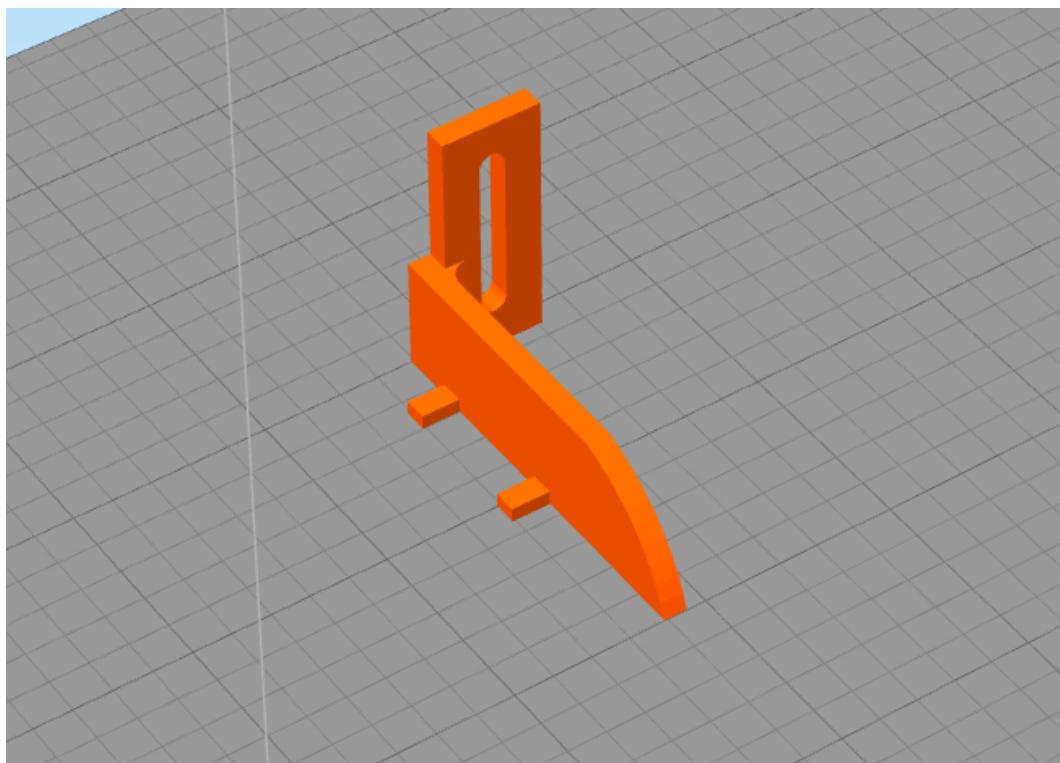


Ilustración 82. Preparación del archivo STL del objeto 3D.

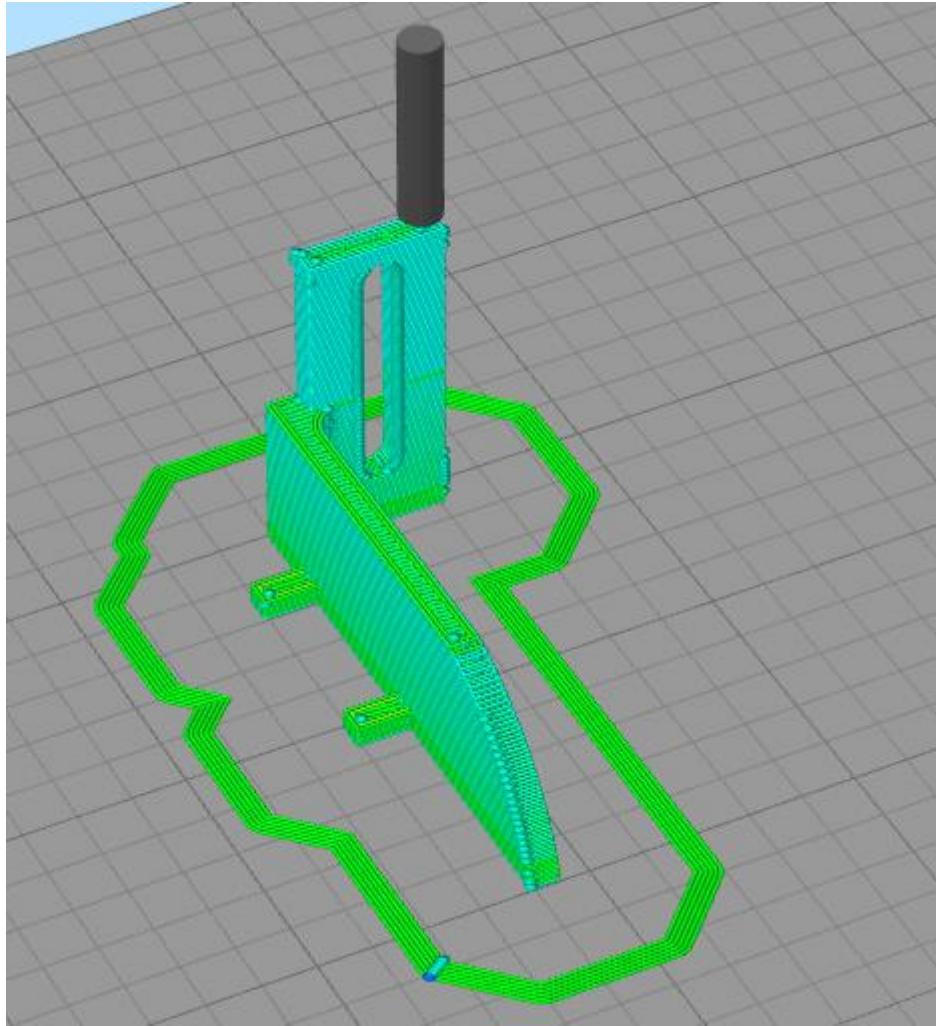


Ilustración 83. Simulación del proceso 3D del soporte para contenedor.

## 5 Conclusiones y trabajo futuro

Como resultado de este proyecto de investigación se logró obtener un USV de bajo coste sin superar los 300US en su proceso de diseño, fabricación y ensamblaje. Así mismo, fue una ventaja poder usar software y hardware libres tales como: RaspberryPi, Autodesk Inventor, Repetier Host y Cura Slicer para el proceso de diseño del prototipo y programado de los componentes para el reconocimiento de los residuos sólidos flotantes.

Se pudo realizar el diseño del prototipo teniendo en cuenta dimensiones para su uso en lagos y piscinas. El prototipo realizado no es viable usarlo en mares por su pequeño tamaño y baja resistencia al agua salada. El prototipo, además, no es a prueba de agua lo que limita su uso a condiciones climatológicas con cielos despejados. La Ilustración 84 muestra el prototipo completamente ensamblado y funcionando en el agua. Se pudo establecer mediante pruebas que el prototipo necesitaba más peso en la parte trasera debido a que el peso de los

componentes usados para el reconocimiento y el sistema FPV inclinaban el prototipo hacia adelante generando que el agua mojara la superficie superior del prototipo.

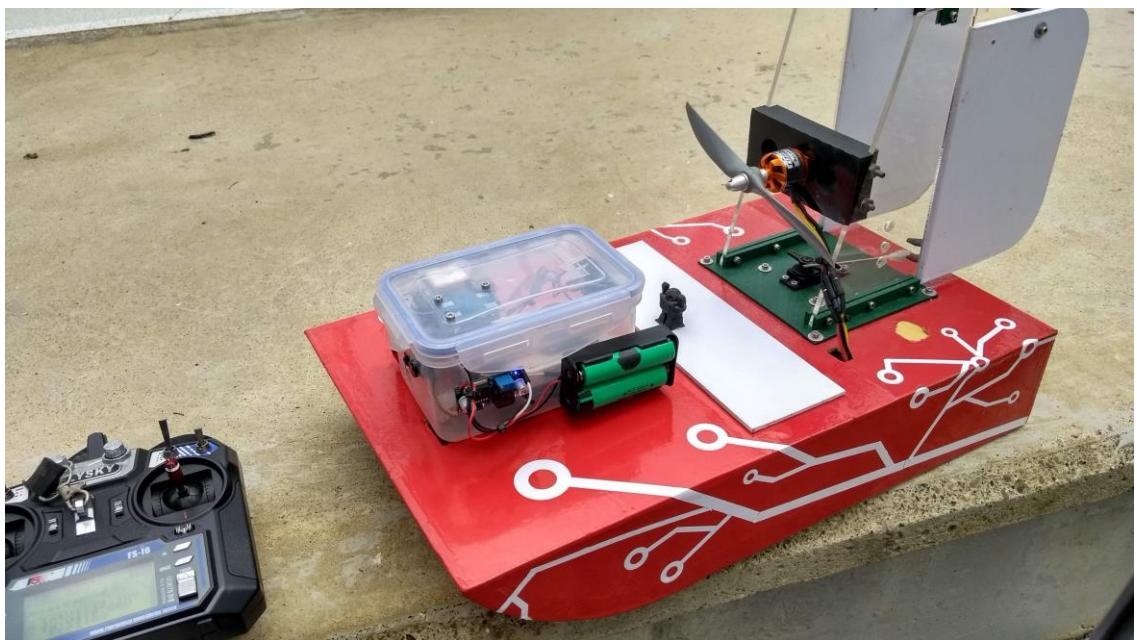


Ilustración 84. USV completamente ensamblado.

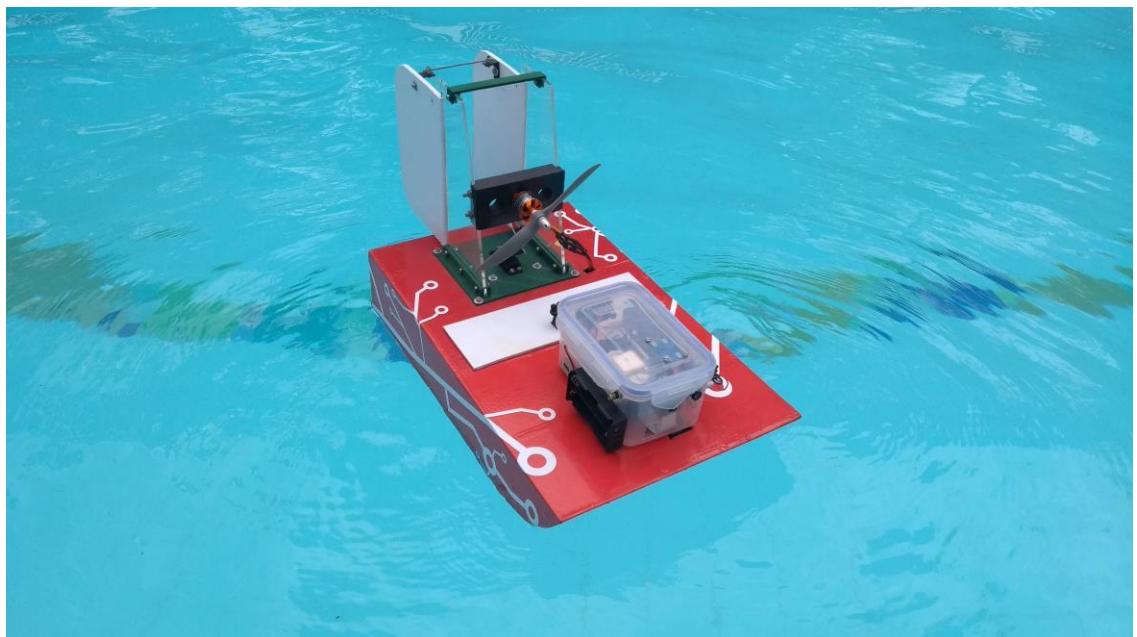


Ilustración 85. Prueba de flotabilidad del USV.

Tal como se pudo apreciar en el desarrollo del trabajo, se logró fabricar el USV de acuerdo al diseño 3D mostrado, usando la combinación de varios métodos de fabricación como: el corte láser, la impresión 3D y la labor manual, así como también la simulación del ensamblaje de las piezas que se mostró en la ilustración 52.

Además de esto, se pudo programar el dispositivo RaspberryPi para el reconocimiento de objetos usando el software TensorFlow. Para esto se descargó el fichero desde un repositorio en GitHub siguiendo el tutorial del siguiente video: <https://www.youtube.com/watch?v=npZ->

[8Nj1YwY&t=487s](#). También se logró enviar video en tiempo real a través del sistema FPV instalado en el USV. Este sistema permite direccionar el prototipo cuando sale del rango de vista del piloto. La ilustración 86 muestra la imagen recibida en tierra desde el USV (no se pudo lograr una mejor resolución debido a la iluminación del día).



Ilustración 86. Imagen recibida desde el USV a través del sistema FPV.

Para el desarrollo del prototipo y, por el poco tiempo de ejecución del trabajo, el código de geolocalización del USV no se pudo culminar debido a que no se integró con el código para el reconocimiento de los objetos. Por ende, se propone que la geolocalización se realice como trabajo futuro. Así mismo, como trabajo futuro, se podría programar al USV para que siga unas coordenadas GPS preestablecidas y durante el recorrido, pueda ejecutar el reconocimiento de imágenes enviando las coordenadas de posicionamiento por medio de una comunicación Bluetooth o RF del objeto, a un dron u otro USV que sea capaz de recogerlo en la posición que se encuentra. De igual manera, el USV se podría equipar con sensores para la medición de distintos parámetros del agua tales como: pH, salinidad, oxígeno disuelto, entre otros, para que al mismo tiempo que realiza el recorrido de reconocimiento, pueda recolectar datos del ambiente acuático en el que se encuentra.

Otra posibilidad de mejora del prototipo es realizarlo completamente a prueba de agua teniendo en cuenta los costos de diseño y fabricación para que no se aleje del objetivo de ser de bajo costo.

## 6 Referencias

- [1] DefenseWebTV, «www.youtube.com,» DefenseWebTV, [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=3KJbL4Ngvk&t=52s>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [2] Ecured. [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Salinidad>. [Último acceso: 15 Agosto 2019].
- [3] N. R. C. (U.S.), «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Oxigenaci%C3%B3n>. [Último acceso: 10 Junio 2019].
- [4] Arduino, «Arduino.cc,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>. [Último acceso: 3 junio 2019].
- [5] «Raspberrypi.org,» [En línea]. Available: [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org). [Último acceso: 3 junio 2019].
- [6] [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia>. [Último acceso: 2019].
- [7] [En línea]. Available: [http://www.rovexchange.com/mc\\_rov\\_overview.php](http://www.rovexchange.com/mc_rov_overview.php). [Último acceso: junio 2019].
- [8] [En línea]. Available: <https://latinoamerica.autodesk.com/products/inventor/overview>. [Último acceso: mayo 2019].
- [9] [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>. [Último acceso: junio 2019].
- [1] Autodesk. [En línea]. Available: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-0> software. [Último acceso: mayo 2019].
- [1] S. Leal, «E-Renovarse o morir: 7 tendencias para convertirse en un líder digital,» 2015.
- [1]
- [1] J. Prusa, «RepRap,» [En línea]. Available: [www.reprap.org](http://www.reprap.org). [Último acceso: abril 2019].
- [2]
- [1] [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Corte\\_con\\_l%C3%A1ser](https://es.wikipedia.org/wiki/Corte_con_l%C3%A1ser). [Último acceso: abril 2019].
- [3]

- [1] AlgoDeConocimiento, «Youtube,» [En línea]. Available:  
4] <https://www.youtube.com/watch?v=jFK-2VLjijY>. [Último acceso: abril 2019].
- [1] Embention. [En línea]. Available: <https://www.embention.com/es/news/usv-sus-5-aplicaciones-y-ventajas/>. [Último acceso: abril 2019].
- [1] Edureka!, «Youtube,» [En línea]. Available:  
6] <https://www.youtube.com/watch?v=LlhmzVL5bm8>. [Último acceso: abril 2019].
- [1] Deloitte. [En línea]. Available:  
7] <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/iot-internet-of-things.html>. [Último acceso: mayo 2019].
- [1] Ranmarine, «ranmarine,» [En línea]. Available: <https://www.ranmarine.io/>. [Último acceso: 8] mayo 2019].
- [1] Ranmarine, «Ranmarine,» [En línea]. Available: <https://www.ranmarine.io/datashark>.  
9] [Último acceso: mayo 2019].
- [2] J. S. y. S. Silvestre, «Internet de las cosas,» TechPedia, 2016.  
0]
- [2] S. Ocean, «sofarocean,» [En línea]. Available:  
1] <https://www.sofarocean.com/products/spotter>. [Último acceso: junio 2019].
- [2] S. Ocean, «sofarocean,» [En línea]. Available:  
2] <https://www.sofarocean.com/products/spotter>. [Último acceso: 2019].
- [2] «Youtube,» [En línea]. Available:  
3] [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=12&v=O1EAeNdTFHU](https://www.youtube.com/watch?time_continue=12&v=O1EAeNdTFHU). [Último acceso: junio 2019].
- [2] T. O. Cleanup, «Youtube,» [En línea]. Available:  
4] <https://theoceancleanup.com/technology/>. [Último acceso: 2019].
- [2] Raspbian.org, «raspbian,» [En línea]. Available:  
5] <https://www.raspbian.org/RaspbianAbout>. [Último acceso: 2019].

- [2] Microchip. [En línea]. Available: <https://www.microchip.com/>. [Último acceso: mayo 2019].  
6]
- [2] [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/GPS>. [Último acceso: 2019].  
7]
- [2] Ublox. [En línea]. Available: <https://www.u-blox.com/en>. [Último acceso: 2019].  
8]
- [2] Vistronica. [En línea]. Available: [www.vistronica.com](http://www.vistronica.com). [Último acceso: 2019].  
9]
- [3] «wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidrodeslizador>. [Último  
0] acceso: 26 agosto 2019].
- [3] FlySky. [En línea]. Available: <https://www.flysky-cn.com/>. [Último acceso: 2019].  
1]
- [3] MecanicaAPP. [En línea]. Available: <http://mecanicappweb.com/modulacion-de-ancho-2> de-pulso-pwm/. [Último acceso: junio 2019].
- [3] «TowerPro,» [En línea]. Available: <http://www.towerpro.com.tw/>.  
3]
- [3] «Turnigy,» [En línea]. Available: [www.turnigy.com](http://www.turnigy.com). [Último acceso: mayo 2019].  
4]
- [3] «Aeromodelismo Epiel,» [En línea]. Available:  
5] [http://aeromodelismo.epiel.com/c\\_baterias.html](http://aeromodelismo.epiel.com/c_baterias.html). [Último acceso: mayo 2019].
- [3] [En línea]. Available:  
6] [https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_de\\_pol%C3%ADmero\\_de\\_litio](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_pol%C3%ADmero_de_litio). [Último  
acceso: 2019].
- [3] [En línea]. Available: [www.megabatteries.com](http://www.megabatteries.com). [Último acceso: 2019].  
7]
- [3] [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Panel\\_solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar). [Último acceso: junio  
8] 2019].

- [3] [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/First-9\] person\\_view\\_\(radio\\_control\)#cite\\_note-FPV\\_Goggles\\_For\\_Drones\\_And\\_Experience\\_The\\_Thrill\\_Of\\_Flying-1](https://en.wikipedia.org/wiki/First-9] person_view_(radio_control)#cite_note-FPV_Goggles_For_Drones_And_Experience_The_Thrill_Of_Flying-1). [Último acceso: mayo 2019].
- [4] J. RC, «Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Cnwl6yogelM>. [Último acceso: junio 2019].
- [4] «diydronebook,» [En línea]. Available: <http://www.diydronebook.com/micro-fpv>. [Último 1] acceso: abril 2019].
- [4] Eachine, «Eachine,» [En línea]. Available: [https://www.eachine.com/Eachine-EV800-5-2\] Inches-800x480-FPV-Goggles-5\\_8G-40CH-Raceband-Auto-Searching-Build-In-Battery-p-356.html](https://www.eachine.com/Eachine-EV800-5-2] Inches-800x480-FPV-Goggles-5_8G-40CH-Raceband-Auto-Searching-Build-In-Battery-p-356.html). [Último acceso: julio 2019].
- [4] T. Instrument, «ti.com,» [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>. 3] [Último acceso: 2019].
- [4] «Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre\\_\(instrumento\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_(instrumento)). 4] [Último acceso: julio 2019].
- [4] S. Robot, «Grabcad,» [En línea]. Available: <https://grabcad.com/library/mg995-1>. [Último 5] acceso: 10 julio 2019].
- [4] «rcfair,» [En línea]. Available: <http://www.rcfair.com/en/product/1466890/>. [Último acceso: 6] julio 2019].
- [4] G. RBL, «Grabcad,» [En línea]. Available: [https://grabcad.com/library/turnigy-d2826-7\] 2200kv-1](https://grabcad.com/library/turnigy-d2826-7] 2200kv-1). [Último acceso: julio 2019].
- [4] «ociomodel,» [En línea]. Available: [https://ociomodell.com/ociomodell/madera-de-8\] balsa/9119-plancha-madera-de-balsa-100x1000x15-mm-marca-dismoer-ref-35302-8434683000064.html](https://ociomodell.com/ociomodell/madera-de-8] balsa/9119-plancha-madera-de-balsa-100x1000x15-mm-marca-dismoer-ref-35302-8434683000064.html). [Último acceso: 2019].
- [4] «Simplify,» [En línea]. Available: <https://www.simplify3d.com/>. [Último acceso: 2019]. 9]
- [5] Cura, «Cura Ultimaker,» [En línea]. Available: [https://ultimaker.com/software/ultimaker-0\] cura](https://ultimaker.com/software/ultimaker-0] cura). [Último acceso: 2019].

- [5 Repetier, «Repetier Host,» [En línea]. Available: <https://www.repetier.com/>. [Último acceso: 2019].
- [5 «dubro.com,» [En línea]. Available: <https://www.dubro.com/products/mini-e-z-connector>. [Último acceso: 2019].
- [5 «Zonahobbies,» [En línea]. Available: [https://www.zonahobbies.com/index.php?id\\_product=765&controller=product&search\\_query=clevis&results=5](https://www.zonahobbies.com/index.php?id_product=765&controller=product&search_query=clevis&results=5).
- [5 FliteTest, «Youtube,» [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=xyzC1Z1p\\_yo](https://www.youtube.com/watch?v=xyzC1Z1p_yo). [Último acceso: 2019].
- [5 «<https://www.youtube.com/watch?v=3KJbL4Ngvjk&t=52s>,» [En línea].
- 5]