

DISEÑO DE SISTEMA MECATRONICO RADIOCONTROLADO PARA LA
RECOLECCIÓN DE MICROPLASTICOS EN LA LAGUNA SANTA TERESITA.

JEISSON STEVEN GAONA LADINO
JOAN ALEJANDRO ECHEVERRIA MORENO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.

2023

DISEÑO DE SISTEMA MECATRONICO RADIOCONTROLADO PARA LA
RECOLECCIÓN DE MICROPLASTICOS EN LA LAGUNA SANTA TERESITA.

JEISSON STEVEN GAONA LADINO
JOAN ALEJANDRO ECHEVERRIA MORENO

ANTEPROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO

Director:

JOHN MONZAIDE ALVAREZ CELY

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.

2023

Nota de Aceptación:

El trabajo de grado, titulado “**DISEÑO DE SISTEMA MECATRONICO RADIOCONTROLADO PARA LA RECOLECCIÓN DE MICROPLASTICOS EN LA LAGUNA SANTA TERESITA.**” elaborado y presentado por los estudiantes **JEISSON STEVEN GAONA LADINO & JOAN ALEJANDRO ECHEVERRIA MORENO**, como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecatrónico, fue aprobado por el Jurado Calificador

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. 27 de febrero de 2023

DEDICATORIA

A la persona más importante en mi vida, mi madre, quien ha sido mi apoyo incondicional y mi inspiración para alcanzar mis metas. Su dedicación, amor y esfuerzo han sido fundamentales en este logro.

JEISSON STEVEN GAONA LADINO

Dedico esta tesis con todo mi corazón a Dios, por ser la fuente de mi fuerza y sabiduría en todos los momentos de mi vida. A mi querida madre, por su amor incondicional y por su apoyo incansable que han sido la fuerza que me ha impulsado a seguir adelante en los momentos más difíciles. A mi padre, por su amor incondicional y por ser uno de mis pilares constantes de apoyo y motivación. A mis hermanos, por sus risas y palabras de aliento que han sido un bálsamo para mi alma en los momentos más difíciles. Gracias por ser mi familia y por ser una parte integral de mi camino hacia el éxito. Este logro es tanto mío como de cada uno de ustedes. Los amo.

JOAN ALEJANDRO ECHEVERRIA MORENO

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a la Fundación Universitaria Agraria De Colombia por brindarnos la oportunidad de desarrollarnos académicamente y formar parte de esta gran etapa de nuestras vidas. En especial, agradecemos a la facultad de ingeniería mecatrónica por su apoyo incondicional a nuestro crecimiento profesional desde el comienzo.

Agradecemos a los docentes de la facultad por su dedicación y esfuerzo en enseñarnos y guiarnos en nuestro camino de formación y desarrollo en el campo de la ingeniería. La enseñanza valiosa y la experiencia práctica que nos brindaron ha sido fundamental en el logro de nuestro crecimiento y desarrollo profesional.

Quisiéramos expresar una profunda gratitud a nuestro asesor de tesis, John Monzaide Álvarez Cely, por su guía incansable y su apoyo constante durante todo el proceso de elaboración de nuestra tesis. Gracias a su visión experta, su experiencia y su confianza en nosotros, hemos sido capaces de superar obstáculos y completar este importante proyecto.

también agradecemos a nuestros compañeros de la carrera que nos dieron ese apoyo y nos ayudaron cuando lo necesitábamos, fueron de gran ayuda en nuestro desarrollo profesional.

Por último, queremos hacer un reconocimiento especial a nuestras familias, quienes han sido un pilar fundamental en todo momento de nuestras vidas y carreras. Su amor incondicional y apoyo constante han sido la motivación que nos ha permitido perseverar y alcanzar nuestros sueños. Sin ellos, este logro no sería posible y por eso les estamos eternamente agradecidos. Gracias por ser una fuente de amor, fuerza y esperanza para nosotros. Los amamos incondicionalmente

RESUMEN

En los últimos años se ha venido estudiado la repercusión en el medio ambiente que generan los microplásticos presentes en las fuentes hídricas, ya que la exposición de estos puede llegar a tener consecuencias en la salud de los seres vivos. Por lo tanto, es crucial desarrollar sistemas capaces de recolectar y limpiar estos agentes presentes en el agua.

A partir de la premisa se decidió realizar un trabajo de investigación el cual tuvo como objetivo diseñar y fabricar un robot que pueda recolectar microplásticos en la superficie de lagos y lagunas. Para la elaboración del modelo se emplearon software de diseño como Autodesk Fusion 360™ y se realizaron simulaciones mecánicas e hidrodinámicas a través del software ANSYS® con el fin de optimizar el diseño para su posterior fabricación.

Se estableció un diseño metodológico mixto, basado en la norma VDI 2206, que se desarrolló a través de una serie de etapas, con ello se construyó el prototipo donde se tuvo en cuenta factores como su evolución al igual que su funcionamiento en diversos entornos, además se investigaron los cálculos pertinentes y estructuras adecuadas para el tipo de ambiente implementado.

Los resultados del proyecto demuestran la funcionalidad y efectividad del prototipo al aplicarse en entornos artificiales y reales de bajo oleaje. Finalmente, se concluye la importancia que puede llegar a tener el prototipo al implementarse en entornos de difícil acceso, lo que refuerza su relevancia en la lucha contra la contaminación de microplásticos en fuentes de agua.

Este proyecto se enmarcó en la línea institucional de medio ambiente y sociedad promulgada por la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, que aborda todo el proceso de desarrollo desde la identificación del problema hasta la propuesta final.

Palabras clave: Residuos plásticos, diseño, robot acuático, prototipo, hídrico.

ABSTRACT

In recent years, the impact on the environment generated by microplastics present in water sources has been studied, since their exposure can have consequences on the health of living beings. Therefore, it is crucial to develop systems capable of collecting and cleaning these agents present in the water.

Based on the premise, it was decided to carry out a research work whose objective was to design and manufacture a robot that can collect microplastics on the surface of lakes and lagoons. For the elaboration of the model, design software such as Autodesk Fusion 360™ was used and mechanical and hydrodynamic simulations were carried out through the ANSYS® software in order to optimize the design for its subsequent manufacture.

A mixed methodological design was established, based on the VDI 2206 standard, which was developed through a series of stages, with which the prototype was built where factors such as its evolution were taken into account as well as its operation in various environments, in addition the pertinent calculations and adequate structures for the type of environment implemented were investigated.

The results of the project demonstrate the functionality and effectiveness of the prototype when applied in artificial and real environments with low waves. Finally, the importance that the prototype can have when implemented in environments with difficult access is concluded, which reinforces its relevance in the fight against microplastic contamination in water sources.

This project is framed within the institutional line of environment and society promulgated by the Fundación Universitaria Agraria de Colombia, which addresses the entire development process from the identification of the problem to the final proposal.

Keywords: Plastic waste, design, aquatic robot, prototype, simulations, water.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	20
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	21
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	21
2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.	24
3. JUSTIFICACIÓN	25
4. OBJETIVOS	28
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	28
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	29
5.1. ALCANCES.	29
5.2. LIMITACIONES.	29
6. MARCO REFERENCIAL.....	31
6.1. ESTADO DEL ARTE.	31
6.1.1. MODELOS COMERCIALES.	31
6.1.2. PATENTES.	38
6.1.3. PROYECTOS DE TESIS.....	43
6.1.4. ARTÍCULOS DE PUBLICACIÓN.....	48
6.2. MARCO HISTÓRICO.	50
6.2.1. DISEÑOS EN EL TIEMPO DE ROBÓTICA SUBACUÁTICA.	50
6.2.2. ROBÓTICA SUBACUÁTICA Y LIMPIEZA DE RESIDUOS: CRONOLOGIA... 53	
6.3. MARCO TEÓRICO.....	55
6.3.1. ROBOTS ACUATICOS.	55
6.3.1.1. ROBOTS ACUÁTICOS ROVS.	56
6.3.1.2. ROBOTS ACUÁTICOS AUVS.....	56
6.3.1.3. ROBOTS ACUÁTICOS IAUVS.....	56
6.3.2. SISTEMAS DE DESPLAZAMIENTO.....	57
6.3.3. PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES.....	59
6.3.3.1. CALCULO DE FLOTABILIDAD.	60
6.3.3.2. DISEÑO PARA LA FLOTABILIDAD	61
6.3.3.3. ESTABILIDAD TRANSVERSAL.....	62
6.3.3.4. CENTRO DE GRAVEDAD.	63
6.3.3.5. CENTRO DE CARENA.....	64

6.3.3.6. METACENTRO.	64
6.4. MARCO TÉCNICO.	66
6.4.1. FUNCIONALIDAD.	66
6.4.2. MECANISMO DE RECOGIDA Y TAMAÑO DEL RESIDUO.	67
6.4.3. DETECCIÓN DEL RESIDUO.	67
6.4.4. ACERCAMIENTO AL RESIDUO.	68
6.4.5. RECOGIDA Y DESCARGA DEL RESIDUO.	68
6.4.6. ENTORNO OPERATIVO.	68
6.4.6.1. MEDIO FLUIDO.	68
6.4.6.2. ESTANQUEIDAD.	69
6.4.6.3. FLOTACIÓN Y ESTABILIDAD.	70
6.4.6.4. MEDIO CORROSIVO.	74
6.4.6.5. IMPERMEABILIDAD.	74
6.4.7. FABRICACIÓN, MATERIALES Y COSTES.	74
6.4.7.1. PESO.	75
6.4.7.2. PROCESOS DE FABRICACIÓN.	75
6.4.7.3. CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA 3D.	76
6.5. MARCO CONCEPTUAL.	77
6.6. MARCO LEGAL.	79
6.7. MARCO GEOGRAFICO.	81
6.7.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.	81
6.7.2. RECURSOS HIDRICOS Y FACTORES DEL CLIMA EN GUATAVITA.	83
7. DISEÑO METODOLÓGICO.	84
7.1. ENFOQUE & TIPO DE INVESTIGACIÓN.	84
7.2. HIPÓTESIS, VARIABLES E INDICADORES.	85
7.2.1. HIPOTESIS GENERAL & ESPECIFICA.	85
7.2.1.1. HIPOTESIS GENERAL.	85
7.2.1.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS.	85
7.2.2. VARIABLES E INDICADORES.	86
7.3. TECNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	87
7.4. MUESTREO.	88
7.4.1. UNIVERSO.	88
7.4.2. POBLACIÓN.	88
7.4.3. MUESTRA.	88
7.5. PROCEDIMIENTO Y FASES.	89

7.5.1. ETAPA 1: ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	90
7.5.2. ETAPA 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	90
7.5.3. ETAPA 3: DESARROLLO.	90
7.5.4. ETAPA 4: IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN.	92
8. INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	94
8.1. DISEÑO MECÁNICO.....	94
8.1.1. ESTRUCTURA GENERAL DEL ROBOT.	96
8.1.1.1. DISEÑO DE LA ESTRUCTUA CATAMARAN.	97
8.1.2. SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL ROBOT.....	107
8.1.2.1. DISEÑO DE TURBINAS.....	108
8.1.3. CALCULOS DE RESISTENCIA AL AVANCE DEL ROBOT.....	115
8.1.4. DISEÑO DE MÓDULO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS.	117
8.1.4.1. CARACTERÍSTICA DE LA RED DE CAPTACIÓN.....	120
8.2. DISEÑO DE SISTEMA ELECTRÓNICO.	121
8.2.1. CÁLCULO DE MOTORES.	121
8.2.1.1. REQUERIMIENTOS DEL MOTOR.....	121
8.2.1.2. DISEÑO DE MOTORES.....	123
8.2.2. DISEÑO DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN RADIO CONTROLADO.....	125
8.2.3. DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	126
8.2.4. CALCULO DE BATERIAS DE SISTEMA ELECTRONICO.	129
8.2.5. SIMULACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO EN PROTEUS 8.....	130
8.3. SIMULACIONES FEA.....	135
8.3.1. SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE LA TURBINA.	135
8.4. FABRICACIÓN.....	137
8.4.1. IMPRESIÓN DE CHASIS & PIEZAS.....	137
8.4.2. CONSTRUCCIÓN DE LA CESTA Y RED.....	141
8.4.3. ACTUADORES Y SISTEMA DE COMUNICACIÓN RF: PROGRAMACIÓN.....	143
8.4.4. ELABORACIÓN DE MODULO ELÉCTRICO.	145
8.4.5. ENSAMBLE DEL ROBOT.	146
8.4.6. APLICACIÓN DE RESINAS Y SELLOS ANTI FILTRACIÓN.	148
9. IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN.....	149
9.1. IMPLEMENTACIÓN EN FUENTE HÍDRICA ARTIFICIAL.....	149
9.1.1. EVALUACIÓN DE FUNCIONAMIENTO EN ENTORNO ARTIFICIAL.....	150
9.1.1.1. EVALUACION DE VELOCIDAD EN ENTORNO ARTIFICIAL.....	150
9.1.1.2. EVALUACIÓN DE RECOLECCION EN INTERVALO DE TIEMPO.	152

9.1.1.3. EVALUACIÓN DE RECOLECCION HASTA AGOTAR BATERIA.	154
9.1.2. CORRECCIONES PERTINENTES	155
9.2. IMPLEMENTACIÓN EN FINCA SANTA TERESITA.	157
9.2.1. EVALUACIÓN DE FUNCIONAMIENTO EN LAGUNA.	158
9.2.1.1. EVALUACION DE VELOCIDAD EN LAGUNA.	159
9.2.1.2. EVALUACION DE MOVIMIENTO RECTILINEO UNIFORME.	160
9.2.1.3. EVALUACION DE DISTANCIA DE RADIO CONTROL DEL ROBOT. ...	161
9.2.1.4. EVALUACIÓN DE RECOLECCION EN INTERVALO DE TIEMPO EN LAGUNA.....	163
9.2.1.5. EVALUACIÓN DE RECOLECCION HASTA AGOTAR BATERIA EN LAGUNA.....	165
10. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	166
10.1. RESULTADOS.	166
10.1.1. RESULTADO VELOCIDAD ENTORNO ARTIFICIAL Y LAGUNA.....	166
10.1.2. RESULTADO RECOLECCION DE PLASTICOS EN INTERVALO DE TIEMPO EN ENTORNO ARTIFICIAL Y LAGUNA.	167
10.1.3. RESULTADO RECOLECCION HASTA AGOTAR BATERIA EN ENTORNO ARTIFICIAL Y LAGUNA.	170
10.1.4. RESULTADO DE MOVIMIENTO RECTILINEO UNIFORME.	172
10.1.5. RESULTADOS DISTANCIA DE RADIO CONTROL DEL ROBOT.....	173
10.1.6. RESULTADOS DE RESISTENCIA AL AVANCE DEL ROBOT.....	174
10.2. CONCLUSIONES.....	175
10.2.1. PRIMERA CONCLUSIÓN.	175
10.2.2. SEGUNDA CONCLUSIÓN.....	175
10.2.3. TERCERA CONCLUSIÓN.	176
10.2.4. CUARTA CONCLUSIÓN.....	176
10.3. RECOMENDACIONES.....	177
11. RECURSOS DISPONIBLES.	178
12. CRONOGRAMA.....	180
13. BIBLIOGRAFÍA.....	182
14. ANEXOS.	189
14.1. ANEXO 1. MOTOR BRUSHLEES.	189
14.2. ANEXO 2. FORMATO FICHAS DE RECOLECCION DE DATOS.....	190
14.3. ANEXO 3. TABLA COMPARATIVA DE CASCOS.....	191
14.4. ANEXO 4. PROPIEDADES FISICAS DE DISEÑO MECANICO DEL ROBOT.	192
14.5. ANEXO 5. PLANOS DE DISEÑO MECANICO DEL ROBOT.	193

14.6. ANEXO 6. PLANOS DE DISEÑO ELECTRONICO DEL ROBOT.	237
14.7. ANEXO 7. TIEMPO Y COSTOS DE CADA PIEZA IMPRESA.....	240
14.8. ANEXO 8. PROGRAMACION DEL PROTOTIPO.	241

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gestión de plásticos según OCDE.....	21
Figura 2. Porcentaje de artículos plásticos en ríos de Europa.	22
Figura 3. Cadena trófica sencilla desde microplástico a humano.	23
Figura 4. Duración de plásticos.....	26
Figura 5. Área de recolección de prototipo vs área total de masa hídrica.....	30
Figura 6. Seabin V5 (contenedor de basura flotante).....	32
Figura 7. Robot WasteShark clase A.	33
Figura 8. Maquina Truxor amphibious.....	35
Figura 9. Robot RO-BOAT.	36
Figura 10. Visualización completa de patente CN102020004B.	38
Figura 11. Ubicación de propulsores.....	39
Figura 12. Sistema de recolección por cinta transportadora - CN102020004B. ...	39
Figura 13. Visualización de patente CN2388111Y.....	40
Figura 14. Visualización completa de la patente CN201158816Y.....	41
Figura 15. Diseño de plataforma de acople.	44
Figura 16. Soporte de miniRov.....	44
Figura 17. Visualización completa de los componentes del sistema.....	45
Figura 18. Vista isométrica del prototipo diseñado por Salinas & Fuentes.	47
Figura 19. Vista lateral del prototipo diseñado por Salinas & Fuentes.....	47
Figura 20. Implementación del prototipo diseñado por Salinas & Fuentes.	48
Figura 21. Clasificación de los robots submarinos.	49
Figura 22. Cronología simplificada de la robótica acuática.	50
Figura 23. Clasificación de robots acuáticos.....	55
Figura 24. Robot acuático impulsado por sistema de turbinas.....	57
Figura 25. Robot acuático impulsado por sistema a chorros.	58
Figura 26. Robot acuático impulsado por sistema de aletas.....	59

Figura 27. Flotabilidad de un objeto.	61
Figura 28. Estabilidad transversal inicial.	62
Figura 29. Centro de gravedad en objetos flotantes.	63
Figura 30. Centro de carena en embarcaciones.	64
Figura 31. Metacentro de una embarcación.....	65
Figura 32. Equilibrio estático de un cuerpo en estado de flotación.	72
Figura 33. Cálculo de la altura metacéntrica M de un cuerpo flotante.	73
Figura 34. Laguna ubicada en la finca Santa Teresita.	81
Figura 35. Mapa base del municipio de Guatavita.	82
Figura 36. Laguna de la finca Santa Teresita.	82
Figura 37. Temperatura máxima y mínima promedio en Guatavita.	83
Figura 38. Variables e indicadores del proyecto.	86
Figura 39. Esquema de desarrollo del prototipo.....	89
Figura 40. Compartimiento de almacenamiento.....	95
Figura 41. Estructura general del robot.....	97
Figura 42. Cascos del robot acuático.....	98
Figura 43. Componentes de los cascos del robot.	98
Figura 44. Piezas de acople tubular.....	99
Figura 45. Medidas acople frontal.	99
Figura 46. Medidas acople posterior.....	100
Figura 47. Empates de acople frontal.	100
Figura 48. Empates de acople posterior.	101
Figura 49. Pieza de adaptación de turbina ubicada en el casco.	101
Figura 50. Unión entre casco & turbina.....	102
Figura 51. Medidas acople de turbina.....	102
Figura 52. Acople de sistema de barrido y de canasta recolectora.....	103
Figura 53. Unión entre cascos & cesta de recolección	103
Figura 54. Medidas acople de cesta de recolección.	104
Figura 55. Unión entre cascos & sistema de barrido.	104
Figura 56. Medidas acople de sistema de barrido.....	105

Figura 57. Unión entre los cascos & la estructura principal.	105
Figura 58. Medidas de estructura principal.	106
Figura 59. Diseño catamarán del robot.	106
Figura 60. Diseño armazón motor Brushless 2212 6T 2200.	109
Figura 61. Diseño soporte de motor.	110
Figura 62. Acople del motor a soporte.	110
Figura 63. Acople de la cola de turbina en motor.	111
Figura 64. Diseño cola de turbina.	111
Figura 65. Segundo cuerpo de turbina.	112
Figura 66. Diseño de segundo cuerpo de turbina.	112
Figura 67. Unión de cuerpo 1 & cuerpo 2 de la turbina.	113
Figura 68. Diseño de hélice.	114
Figura 69. Disposición de elementos de la turbina.	115
Figura 70. Diseño de turbina.	115
Figura 71. Módulo de recolección.	117
Figura 72. Malla plástica del módulo de recolección.	118
Figura 73. Malla de monofilamento del módulo de recolección.	119
Figura 74. Diseño de módulo de recolección.	119
Figura 75. superficie de contacto.	124
Figura 76. Sistema de barrido.	127
Figura 77. Sistema de barrido configuración electrónica.	128
Figura 78. Diseño del sistema eléctrico de las turbinas.	128
Figura 79. Simulación de sistema electrónico en proteus 8.	130
Figura 80. Canal A del osciloscopio.	131
Figura 81. Canal B del osciloscopio.	132
Figura 82. Esquemático de sistema electrónico.	133
Figura 83. Diseño de PCB.	134
Figura 84. Simulación hélice.	135
Figura 85. Líneas de fluido.	136
Figura 86. Tiempo de impresión de piezas sin dividir.	137

Figura 87. Tiempo de impresión de la pieza con división.....	138
Figura 88. Impresión 3D de hélice.	139
Figura 89. Impresión 3D de sistema de propulsión.	139
Figura 90. Impresión 3D de soportes y acoples.	140
Figura 91. Ensamble del módulo de recolección.....	141
Figura 92. Malla ensamblada en módulo de recolección.	142
Figura 93. Programación para controlar servomotores.	143
Figura 94. Programación ESC.	145
Figura 95. unión de motor & turbina.	146
Figura 96. Proceso de limado y acople de tapones en cascos.	146
Figura 97. Ensamble de servomotores.	147
Figura 98. Aplicación de soldadura en frío en tapón de casco.	148
Figura 99. Robot en fuente hídrica artificial.....	150
Figura 100. robot recorriendo la distancia en tina.	151
Figura 101. Ficha de registro de pruebas de velocidad en tina.....	152
Figura 102. Ficha de registro de microplásticos recolectados en intervalo de tiempo.	153
Figura 103. microplásticos almacenados en compartimiento.....	153
Figura 104. Microplásticos usados en la prueba.....	154
Figura 105. Ficha de registro de microplásticos recolectados hasta agotar batería.	155
Figura 106. Corrección de filtración en casco izquierdo.....	156
Figura 107. Área superficial de laguna.....	157
Figura 108. Robot en laguna Santa Teresita.	158
Figura 109. Tapas plásticas usadas en las pruebas.	159
Figura 110. Ficha de registro de pruebas de velocidad en laguna.....	160
Figura 111. Recorrido del robot en 3mts.....	161
Figura 112. Ficha de registro de pruebas de distancia recorrida vs tiempo.	161
Figura 113. Decámetro ajustado al robot.	162
Figura 114. Ficha de registro de pruebas de radiocontrol.....	162

Figura 115. Ficha de registro de tapas recolectadas en intervalo de tiempo.	163
Figura 116. Tapas plásticas almacenados en compartimiento.....	164
Figura 117. Sección de laguna empleada en evaluación.....	164
Figura 118. Ficha de registro de tapas recolectadas hasta agotar batería.	165
Figura 119. grafica de velocidad x prueba en entorno artificial.	166
Figura 120. grafica de velocidad x prueba en Laguna.	167
Figura 121. Promedio recolección vs total en fuente hídrica artificial en intervalo de tiempo.	168
Figura 122. Promedio recolección vs total en laguna.....	169
Figura 123. Promedio de recolección vs total de microplásticos presentes en la fuente hídrica artificial.	171
Figura 124. Promedio de recolección vs total de tapas presentes en la laguna.	172
Figura 125. Distancia vs tiempo del robot en laguna.	173
Figura 126. Cronograma de actividades.	180
Figura 127. Formato ficha de registro de datos.....	190

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cuadro comparativo de modelos comerciales.....	37
Tabla 2. Cuadro comparativo de patentes.....	42
Tabla 3. Especificaciones Anet A8.	76
Tabla 4. Porcentaje de recolección en intervalo de tiempo en fuente hídrica artificial.....	168
Tabla 5. Porcentaje de recolección en intervalo de tiempo en sección de laguna.	169
Tabla 6. Porcentaje de recolección de microplásticos en fuente hídrica artificial	170
Tabla 7. Porcentaje de recolección en sección de la laguna.....	171
Tabla 8. Recursos para el desarrollo del proyecto.	179
Tabla 9. Tabla comparativa de cascos.	191

LISTA DE ACRONIMOS

H: Hora.

min: Minuto(s).

Seg: Segundo(s).

t: Tiempo.

d: Distancia.

Km: Kilometro(s).

mts: Metro(s).

cm: Centímetro(s)

mm: Milímetro(s).

Ec: Ecuación.

°C: Grados Celsius

Kg: Kilogramo.

gr: gramos

He: Hipótesis específica

ρ : Densidad

N: Newtons

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se enfoca en la construcción de un prototipo de limpieza acuático, el cual brinda una solución eficiente en la recolección de microplásticos presentes en diferentes cuerpos de agua, tales como lagunas, lagos, estanques, entre otros. La característica principal del robot diseñado es su versatilidad y eficiencia al ser implementado en entornos de difícil acceso.

La investigación de esta problemática se realizó con la finalidad de dar a conocer posibles soluciones, capaces de mitigar la creciente contaminación en agentes naturales hídricos. Para desarrollar el prototipo se utilizó la metodología VDI 2206, la cual permitió una planificación detallada, al igual que una ejecución sistemática del proyecto. Por otro lado, se realizaron diseños mecánicos y electrónicos, así como simulaciones de elementos finitos, para garantizar la viabilidad y el funcionamiento óptimo del robot.

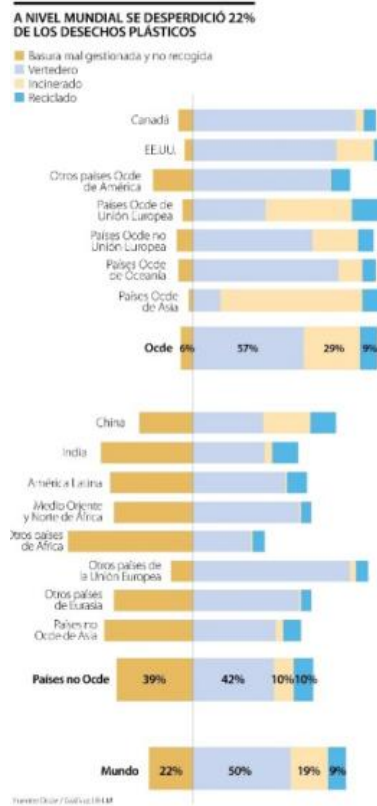
Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal desarrollar un robot acuático limpiador de microplásticos en fuentes hídricas de bajo oleaje, y a través de su uso, mitigar la creciente problemática ambiental. Finalmente, es importante destacar el robot acuático limpiador de microplásticos es una herramienta clave para combatir la contaminación del agua y promover la conservación del medio ambiente con el fin de fomentar la preservación de los ecosistemas acuáticos a través de nuevas tecnologías.

2. FORMULACION DEL PROBLEMA

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El uso de plásticos en la vida del ser humano ha incrementado a lo largo de los años, por consiguiente, cada día se fabrican millones de productos sintéticos para poder suplir la creciente demanda. Actualmente la producción mundial alcanza los 460 millones de toneladas (Editorial La República S.A.S,2022), lo que resulta bastante preocupante ya que como se observa en la figura 1, aproximadamente el 22% de los plásticos totales no tienen una correcta gestión al momento de ser desechados, en consecuencia, un gran porcentaje de estos terminan en el medio ambiente natural.

Figura 1. Gestión de plásticos según OCDE.



Fuente: (Editorial La República S.A.S,2022)

Los plásticos desechados llegan a diferentes ecosistemas, entre ellos, los ecosistemas acuáticos, según Arriaza, J., Sandoval, G., Cortes, E., & Pozo, K. (2019) las cifras de plásticos que llegan al mar son cada vez más alarmantes, lo que genera zonas de acumulación de plástico que recorren las trayectorias de las corrientes submarinas y que pueden alcanzar tamaños de varios miles de m³. Por otro lado, los ecosistemas acuáticos dulceacuícolas como los ríos y demás también se ven afectados por estos residuos, en Europa las botellas constituyen hasta un 14% del plástico encontrado en este tipo de masas de agua (Roa,2021), en la figura 2 se observan los principales artículos de plástico que se encuentran en algunos ríos de Europa.

Figura 2. Porcentaje de artículos plásticos en ríos de Europa.



Fuente: (Roa,2021).

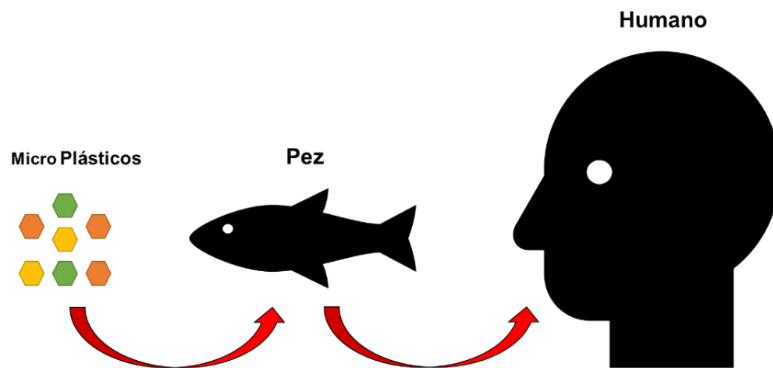
La duración de los residuos plásticos en los ecosistemas puede llegar a variar a lo largo de los años, ya que esta se determinará según su composición química y el entorno donde se encuentre, en consecuencia, se presenta un fenómeno conocido como microplásticos, los cuales se crean a partir de la ruptura de piezas de plástico más grandes debido a la descomposición por los rayos ultravioleta de la luz solar y

el movimiento constante del agua, estos conviven directamente con la fauna local del ecosistema acuático.

La presencia de microplásticos en cuerpos de agua es alarmante debido a que presentan una alta toxicidad, y al ingresar a organismos vivos llegan a causar: estrés por ingestión, fuga de aditivos y exposición a contaminantes asociados, lo cual puede llevar a una bioacumulación de compuestos con capacidad carcinógena o disruptiva endocrina, Valencia (2022).

De acuerdo con Valencia esta sería una de las principales problemáticas del desecho negligente de los residuos plásticos, ya que representan un daño al bienestar directo de los seres pertenecientes a dicho entorno, por otro lado, el ser humano puede llegar a involucrarse en la ingesta de microplásticos de manera indirecta, ya que el pertenece a la cadena trófica como se observa en la figura 3, donde el pez se alimenta de microplásticos, y posteriormente el humano consume el pez. Estudios recientes demuestran que la ingesta prolongada de microplásticos puede llegar a alterar el microbiota colónico humano, por consiguiente, debe tenerse en cuenta como un factor capaz de alterar la homeostasis intestinal humana y, en consecuencia, la salud (Tamargo et al...2022).

Figura 3. Cadena trófica sencilla desde microplástico a humano.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Se reconoce la necesidad de implementar un sistema que permita la recolección de microplásticos debido a los diversos efectos nocivos que pueden generar en la salud de los seres vivos. Para ello se propone el diseño de un prototipo mecatrónico que sea capaz de desplazarse a través de la superficie hídrica y posea la capacidad de recolección.

2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.

El desafío principal es lograr implementar un prototipo acuático que cumpla con las labores de limpieza en superficies de masas hídricas estáticas, el cual tenga la capacidad de superar la mayoría de las limitaciones que pueden presentarse en el diseño, rendimiento, control y estabilidad, por consiguiente, se plantea la siguiente pregunta, ¿Como diseñar un prototipo mecatrónico de limpieza acuática superficial que cumpla con las características técnicas y de calidad necesarias?

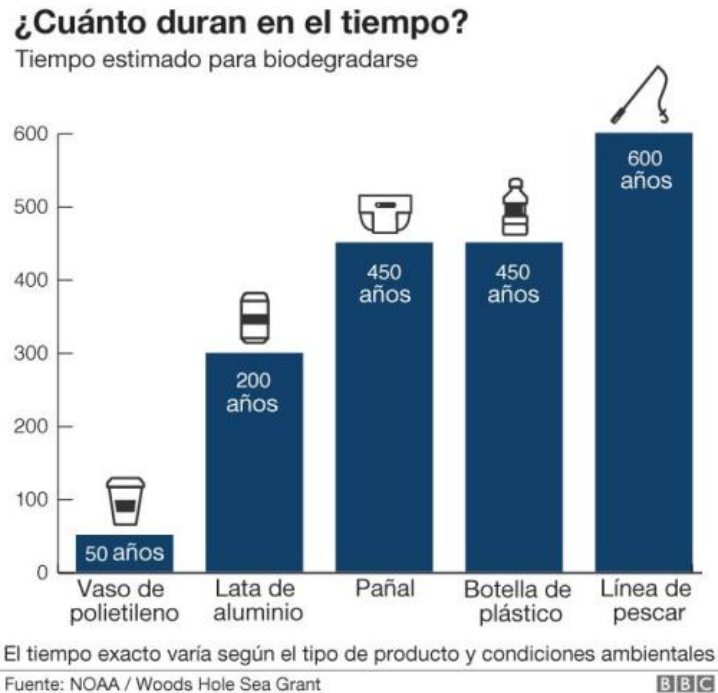
3. JUSTIFICACIÓN

Los plásticos presentes en las masas hídricas representan una de las mayores problemáticas de contaminación actual, un informe realizado recientemente por la organización UNEP (2021) declara que los plásticos son la fracción más grande, más dañina y más persistente de los desechos marinos, y representan al menos el 85% del total de los desechos marinos mundiales, por lo tanto, es necesario implementar soluciones que contribuyan a disminuir el impacto ambiental.

En relación a la problemática expuesta se buscan técnicas o sistemas que permitan limpiar los microplásticos presentes en las masas de agua estáticas, ya que estos pueden llegar a durar varias décadas, inclusive siglos como se observa en la figura 4. Para ellos se plantea el diseño de un prototipo mecatrónico de recolección de pequeños plásticos y microplásticos, con el fin de mejorar la calidad de vida de la fauna marina en aquellos lugares de difícil acceso o de condición especial.

Actualmente, los problemas de contaminación en lagos y lagunas del país están creciendo de manera acelerada, ya que Colombia es un país que cuenta con una industria de plásticos activa, la cual, según Lagos, A et al. (2019) genera más 200.000 empleos directos en el país, lo que repercute en el uso excesivo e indiscriminado de plásticos, por ejemplo, en Colombia se usan más de 2.714.000 mil bolsas de plástico al día según lo expuesto por el autor, una parte de dichos residuos terminan en los cuerpos de agua de la nación, esto a causa de la falta de conciencia, políticas blandas y por diversos aspectos que impiden regular de manera eficiente los desechos no solo de personas particulares, sino de grandes empresas que no dan un correcto manejo a sus residuos y contaminantes derivados de su producción lo que repercute en graves daños en la flora y fauna local de dichas áreas hídricas.

Figura 4. Duración de plásticos.



Fuente:(BBC News Mundo, 2017).

Tanto los campesinos como las unidades de negocio que trabajan en el sector agrícola, utilizando los recursos hídricos, se ven gravemente afectados por la contaminación en estas fuentes de agua. Esta problemática no solo perjudica a los agricultores, sino también puede tener efectos indirectos en los consumidores de sus productos, ya sea en cultivos, actividades pecuarias, piscicultura, avicultura, entre otros. Por lo tanto, es esencial tomar medidas para mitigar los efectos de los agentes contaminantes que perjudican la flora y fauna de los cuerpos de agua. Además, es necesario tomar en cuenta cómo esta situación afecta la vida del campesino agropecuario, ya que sus medios de subsistencia dependen del uso adecuado de los recursos naturales y la sostenibilidad de la tierra y el agua.

En caso de que se logre fabricar el prototipo de manera exitosa, este se relacionaría de manera directa con la línea institucional de medio ambiente y sociedad promulgada por la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, la cual se enfoca

en mitigar las problemáticas relacionadas con el medio ambiente, por consiguiente, el desarrollo del robot marcaría un referente en dicha área para futuras investigaciones. Por otro lado, la implementación de este proyecto ofrecería una solución innovadora y eficaz que podría ser utilizada por entidades gubernamentales como la CAR para limpiar zonas de difícil acceso y mantener ecosistemas vulnerables más limpios.

Un ejemplo concreto de aplicación del prototipo sería en lagunas ubicadas en páramos, los cuales son ecosistemas de suma importancia para la vitalidad del ambiente, ya que son proveedores de agua como lo describe Cortes et al (2022). En este sentido, la implementación del prototipo contribuiría directamente a proteger y preservar el medio ambiente, lo que tendría un impacto positivo en la sociedad y en la economía de dicha región.

Finalmente, el desarrollo del prototipo no solo tendría un impacto en el ambiente y la sociedad, sino también en la profesión de los investigadores involucrados. Esto se debe a que permitiría a los profesionales involucrados en el proyecto aprender nuevas áreas de tecnología y formar nuevos conocimientos en la implementación de soluciones innovadoras en el campo del medio ambiente.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema mecatrónico de recolección de micro residuos plásticos enfocado en la limpieza superficial de lagos y lagunas.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un prototipo electromecánico que posea las características de flotabilidad y recolección, el cual tenga la capacidad de desplazarse sobre masas hídricas.
- Desarrollar sistemas electrónicos que permitan la comunicación y el control del prototipo a través de señales de radiofrecuencia.
- Evaluar el funcionamiento y rendimiento del prototipo, aplicándolo en entornos hídricos estáticos artificiales y naturales.

5. ALCANCES Y LIMITACIONES

5.1. ALCANCES.

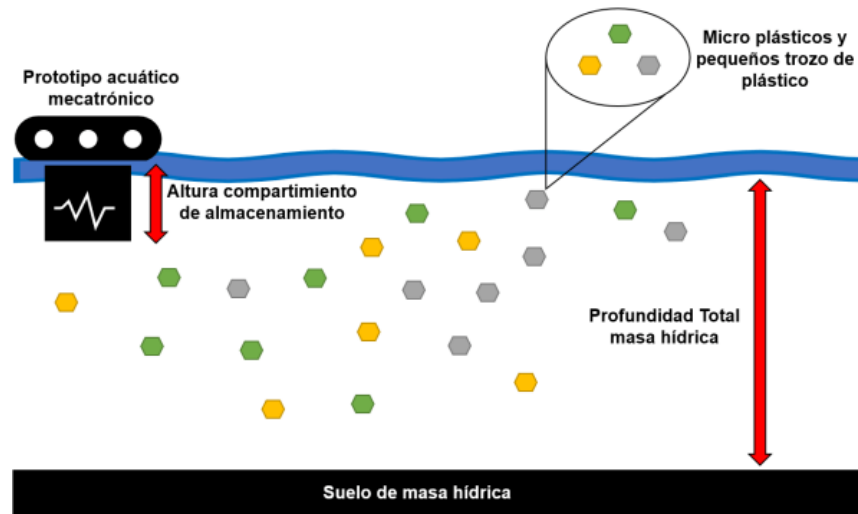
El prototipo diseñado abarcara el enfoque a lagos, lagunas o reservorios de aguas estancadas presentes en la finca santa Teresita, los cuales tienen sus propias características geográficas y geológicas con el fin de delimitar características del sistema, no se planteará la implementación en otros reservorios de agua como áreas marítimas y humedales.

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

5.2. LIMITACIONES.

- El prototipo diseñado únicamente será capaz de almacenar residuos plásticos presentes en la superficie hídrica, aproximadamente 12cm de profundidad, ya que el área del compartimiento es menor al área total de la masa de agua como se observa en la figura 5, por consiguiente, se recolectará solamente una parte del total de los residuos presentes.

Figura 5. Área de recolección de prototipo vs área total de masa hídrica.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

- No se realizará una caracterización específica de la composición de los diferentes microplásticos o pequeños plásticos sintéticos recolectados en las pruebas, ya que el objetivo principal del proyecto de investigación se enfoca en la recolección de residuos mas no en la clasificación del tipo de residuo almacenado, por consiguiente, no se detallará específicamente la densidad, ni la clasificación química a la que pertenece dicho residuo, entre otros.
- Únicamente se detallarán características como el área superficial, ubicación geográfica, profundidad aproximada y fauna visible en el cuerpo de agua (lago) donde se realizarán las pruebas finales de la implementación del prototipo, ya que realizar un análisis de los sedimentos o clasificación específica de los cuerpos y demás agentes presentes en el lago demandaría una serie de recursos monetarios y técnicos no disponibles.

6. MARCO REFERENCIAL.

6.1. ESTADO DEL ARTE.

En este apartado se presenta una compilación de las tecnologías, documentos e investigaciones que cuentan con características que aportan soluciones a diferentes aspectos de la problemática planteada, dicha compilación contribuirá con conocimientos para el posterior diseño, cálculo, desarrollo, operación y mantenimiento del prototipo a desarrollar, estas se dividirán en 4 secciones, las cuales son modelos comerciales, patentes (soluciones tecnológicas), proyectos de tesis y artículos publicados.

6.1.1. MODELOS COMERCIALES.

En esta sección se presentan productos comerciales con características que cumplen con la función de recolectar residuos sólidos flotantes en superficies marinas, se pueden apreciar soluciones de pequeña y gran escala que permiten evaluar el estado actual de la tecnología, algunos de los siguientes modelos son investigaciones pertenecientes a empresas privadas.

Proyecto Seabin v5.

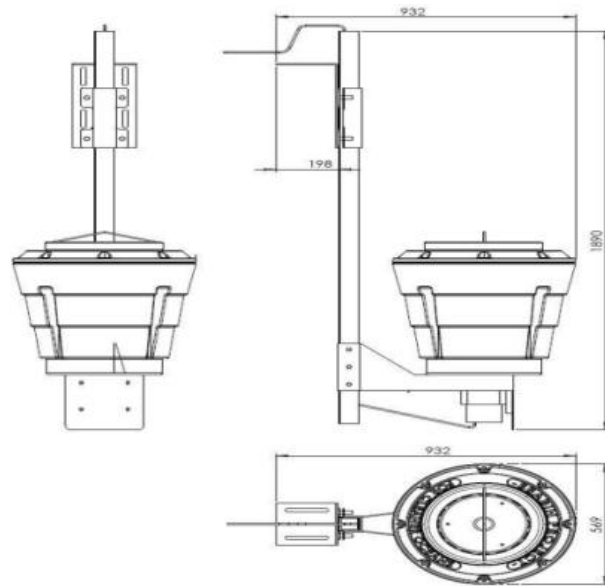
(The Seabin V5 – The Seabin Project - For Cleaner Oceans, s. f.)

La unidad V5 Seabin es un “skimmer de basura” (Figura 6) diseñado para ser implementado en clubes de yates, puertos y cualquier cuerpo hídrico que posea un ambiente con turbulencias ligeras y/o moderadas, este actúa como un contenedor estático que roza la superficie, donde atrae los desechos a través de un sistema de bombeo constante, es capaz de almacenar desechos flotantes, macro y microplásticos e inclusive microfibras al adaptarle un filtro adicional, por otro lado, al actuar como un skimmer de basura, el Seabin V5 es capaz de limpiar materiales orgánico, tales como hojas, algas, entre otros.

El Seabin V5 se puede instalar con un tipo de almohadillas absorbentes, las cuales

tienen la función de embeber aceites creados a partir de petróleo, al igual que algunos detergentes presentes en la superficie.

Figura 6. Seabin V5 (contenedor de basura flotante).



Fuente: (The Seabin V5 – The Seabin Project - For Cleaner Oceans, s. f.)

Características destacables del Seabin V5.

- Construcción robusta de HDPE
- Soporte de acero inoxidable de grado marino 316
- Captura de microplásticos > 2 mm
- Bolsa de captura: tiene capacidad para 20 kg
- Peso con soporte: 55 kg
- Cable eléctrico: 6 metros
- Dimensiones del Seabin: 500 x 500 mm X 1800 mm
- Bolsas de captura reutilizables
- 2 años de garantía
- Componentes reciclables
- Elimina aproximadamente 1,5 toneladas por año

Robot WasteShark clase A. (DRONE SOLUTION SERVICES PTE. LTD., s. f.)

Se presenta como el primer robot autónomo de limpieza de residuos del mundo, cuenta con la capacidad para abordar el problema de la contaminación plástica en puertos, puertos, canales, marinas y aguas urbanas. El robot WasteShark (figura 7) se ha desarrollado para acceder a profundidades mínimas de agua y posee la característica de movilizarse debajo de los muelles y embarcaderos, además es capaz de trabajar durante 10 horas a un rango típico de más de 5 km, y en una jornada completa de día puede llegar a limpiar aproximadamente 1 tonelada de desechos.

Figura 7. Robot WasteShark clase A.



Fuente: (DRONE SOLUTION SERVICES PTE. LTD., s. f.)

Características destacables del Robot WasteShark Clase A.

- Recolección de residuos plásticos, escombros accidentales flotantes o residuos marinos
- Cartucho de cesta extraíble para desecharlo fácilmente
- Cámara de operador POV a bordo
- Capacidad para datos en vivo: datos / profundidad de la calidad de la salud del agua en tiempo real

- Ruta de misión de Waypoint autónoma (comunicación 4G)
- Guiado controlado por radio: alcance de 3 km (1,8 millas)
- Software anticolidión habilitado para líder a bordo
- Dimensiones: L: 161cm H: 46cm Ancho 114cm (5,2 x 1,5 x 3,7 pies)
- Peso: 45 kg (99 libras)
- Propulsión: 3 x propulsores eléctricos (5,25 / 4,1 kgf / 11,6 / 9,0 lbf por propulsor)
- Protección: los propulsores están montados con tecnología patentada Thruster Guard
- Autonomía: 10 h (en modo autónomo)
- Velocidad máxima: 4 nudos (actualizable a 7 nudos)
- Rendimiento de limpieza: 1000 m² / h (11000 ft² / h) a 1 kn
- Capacidad de recolección de residuos hasta 160 litros (43 galones) por despliegue.

Maquina Truxor Amphibious. (Dorotea Mekaniska AB, 2019)

Truxor es una máquina anfibia multifuncional que posee una amplia gama de herramientas y accesorios (figura 8), permite el acceso a áreas normalmente inaccesibles para las máquinas convencionales, lo que la convierte en la solución ideal para trabajar en lagos, canales y otros hábitats de humedales. El sistema de distribución de peso proporciona una baja presión sobre el suelo y una capacidad de flotación a la máquina, lo que genera oportunidades para ser implementada en entornos sensibles como reservas naturales, áreas de conservación, orillas de canales e incluso campos de golf donde la maquinaria convencional de los contratistas puede causar daños.

La flexibilidad de Truxor le permite operar en el agua, en los márgenes poco profundos y en tierra firme al borde del agua, además, la versatilidad de la maquina Truxor permite llevar a cabo de manera efectiva una amplia gama de tareas que incluyen corte y recolección de cañas, bombeo de sedimentos, dragado, excavación de canales, limpieza de derrames de petróleo, entre otras.

Figura 8. Maquina Truxor amphibious.



Fuente: (Dorotea Mekaniska AB, 2019)

Características destacables de maquina Truxor amphibious.

Es un modelo a gran escala donde el operador se encuentra manejando el vehículo desde la parte superior de este, su fuente de energía principal es gasolina. A continuación, se listan algunas características de este producto:

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

Robot Ro-Boat. (Omnipresent Robot Tech, s. f.)

Creado por la empresa Omnipresent Robot Tech Pvt Ltd, es un robot automatizado diseñado para la limpieza de ríos en la India (figura 9), se desplaza a través de sistemas GPS y posee varios sensores para su navegación, además, esta acondicionado con cámaras lo que le permite realizar análisis mediante IA para la detección de contaminantes plásticos, metales pesados y químicos.

Figura 9. Robot RO-BOAT.



Fuente: (Omnipresent Robot Tech, s. f.)

Características destacables de robot Ro-Boat.

- Detección y recolección de residuos impulsada por IA.
- Controlado por el operador hasta un alcance de 5 km o misión automatizada
- Ligero y fácilmente transportable; ideal para misiones de respuesta temporal y regional.
- Resistencia de 2 horas con una sola carga.
- Capaz de extraer 5 kg de residuos por hora y 12 horas de operaciones continuas (utilizando baterías recargables) en diversas condiciones.
- Puede operar cerca de la costa en aguas poco profundas.

- Registra la ruta de las operaciones para el análisis posterior a la misión.
- Ofrece la capacidad de recolectar muestras de diferentes lugares para la elaboración de perfiles de masas de agua.

En la tabla 1 se puede apreciar una comparación de las diferentes características de los robots comerciales presentados anteriormente, dicha comparativa se enfoca principalmente en su sistema de recolección, fuente de energía, duración estimada de trabajo, capacidad de recolección y método de operación.

Tabla 1. Cuadro comparativo de modelos comerciales.

PRODUCTO	SISTEMA DE RECOLECCIÓN	MÉTODO DE OPERACIÓN	ENERGIA	CAPACIDAD	DURACIÓN
SEABIN V5	Succión con bomba	Autónomo	Eléctrico	20 kg	Continuo
WATESHARK	canastilla	Autónomo y teleoperado	Eléctrico	0,16 m ³	10 horas
TRUXOR	Accesorios intercambiables	Manual	Combustible fósil	150 kg	8 horas
RO-BOAT	Pala excavadora	Autónomo por GPS	Eléctrico	5 kg	12 horas

Fuente:(Propia de autor, 2023)

De la comparación realizada en la tabla 1 se puede deducir que los modelos cuya fuente de energía se basa en el combustible fósil poseen una mayor capacidad de carga, sin embargo, dicha fuente de energía no es renovable y tiene un costo mayor a diferencia de los demás, por otro lado, se observa que el límite de carga en los robots eléctricos depende directamente de su diseño, y finalmente se destaca que el modelo WATESHARK no almacena los desechos, ya que este los arrastra, por consiguiente no se somete a un trabajo directo, lo que repercute en una mayor eficiencia.

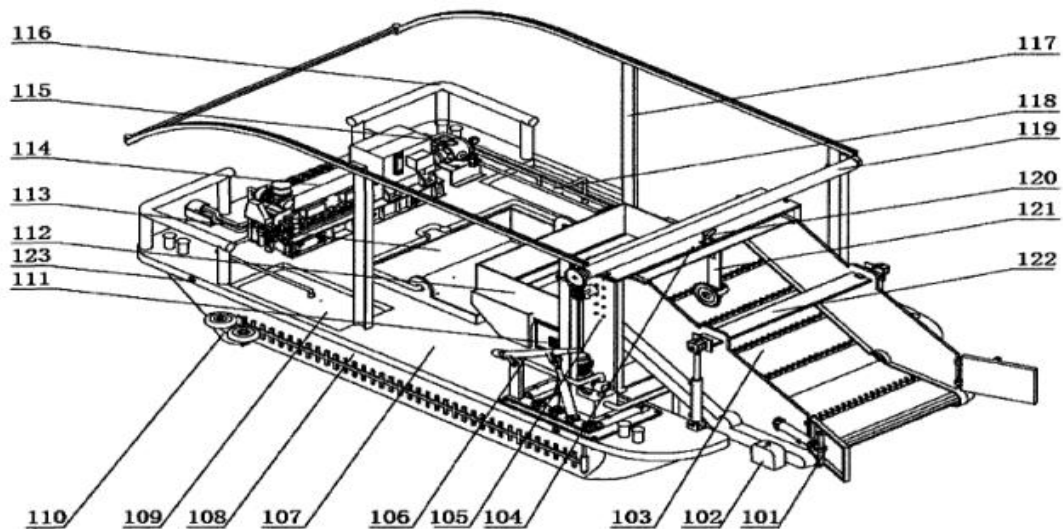
6.1.2. PATENTES.

En esta sección se consultaron patentes registradas como soluciones tecnológicas para las operaciones de limpieza sobre superficies acuáticas, estas fueron investigadas en la página oficial de patentes de Google (Google Patents).

CN102020004B - Barco de limpieza de basura en la superficie del agua. (Liang Huajin et al., 2013)

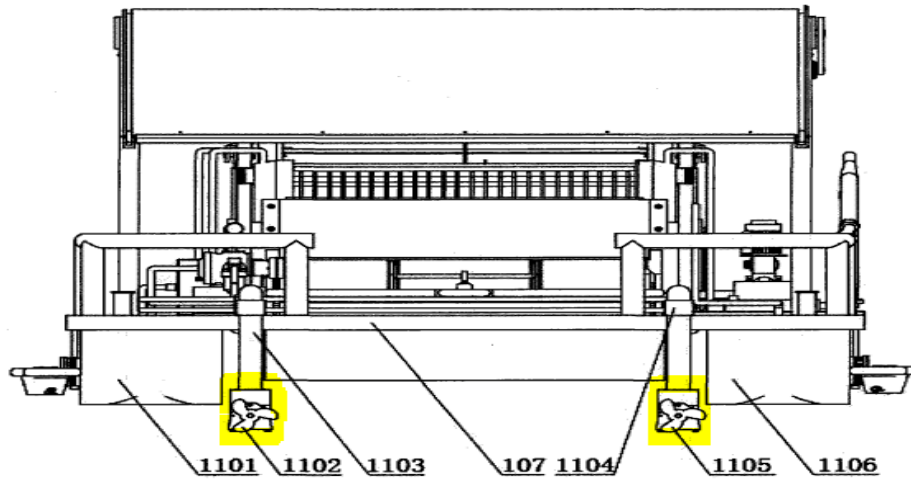
Este vehículo cuenta con sistemas de navegación, detección, recolección y descarga (ver figura 10), tiene un desplazamiento conformado por propulsores (figura 11) los cuales están posicionados en la parte posterior del casco, además, es capaz de detectar los residuos sólidos en las superficies acuáticas con el fin de navegar directamente a su recolección, finalmente, para la recolección de residuos incorpora una cinta transportadora, lo que permite obtener una mayor eficiencia y alcance (figura 12).

Figura 10. Visualización completa de patente CN102020004B.



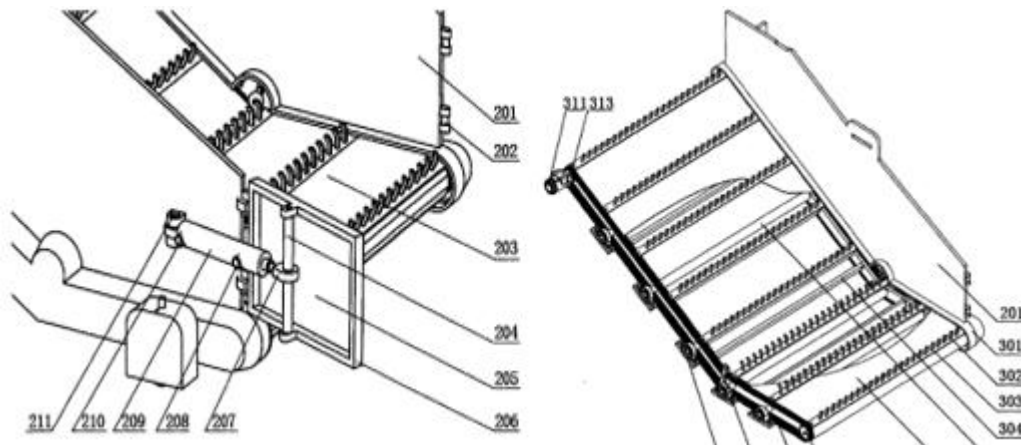
Fuente: (Liang Huajin et al., 2013)

Figura 11. Ubicación de propulsores.



Fuente: (Liang Huajin et al., 2013)

Figura 12. Sistema de recolección por cinta transportadora - CN102020004B.



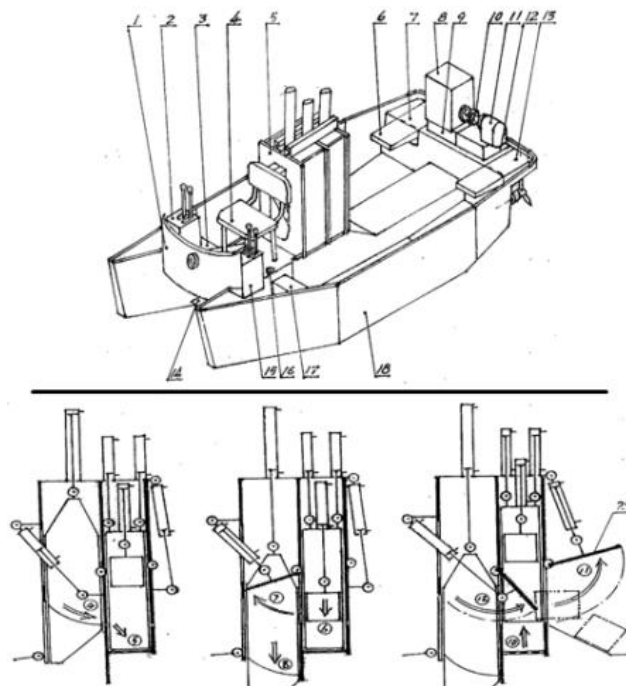
Fuente: (Liang Huajin et al., 2013)

CN2388111Y - Embarcación de doble cuerpo con doble hélice de tornillo y conducción hidráulica para recolección de residuos sólidos en aguas abiertas.

(Xu Guofan, 2000)

Este modelo de embarcación cuenta con propulsión hidráulica de doble cuerpo y de doble hélice para la recolección de residuos sólidos en aguas abiertas (ver figura 13). Tiene una estructura de doble casco, una placa de guía de flujo ajustable, además posee una máquina empacadora automática de control de líquidos. La parte trasera contiene dos cámaras para el control hidráulico que benefician a la empaquetadura automática de la máquina; El colector y la placa de empuje están alojados en la taza, la tolva interior y el pistón de compresión están equipados con la parte trasera, la puerta de descarga está equipada con la parte inferior de la pared trasera, la cámara trasera; Estas partes se enlazan con el ariete hidráulico para controlar su movimiento respectivamente.

Figura 13. Visualización de patente CN2388111Y.

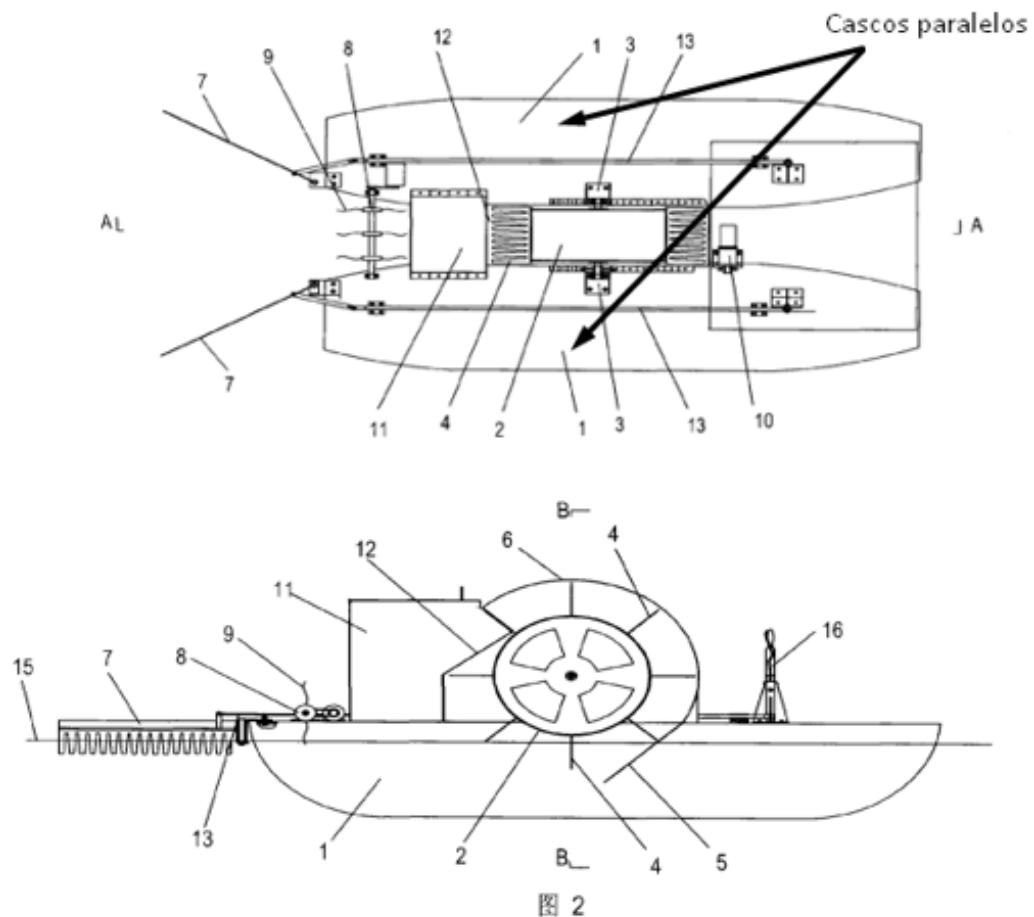


Fuente: (Xu Guofan, 2000)

CN201158816Y- Embarcación de limpieza de residuos sólidos en la superficie del agua. (Guo Bolin et at., 2008)

Este modelo de patente está inspirado en un catamarán, cuenta con dos cascos paralelos como se observa en la figura 14, por otro lado, el diseño se enfoca principalmente en la limpieza de residuos sólidos flotantes de gran proporción, su funcionamiento de placa a compuerta hace que los residuos se dirijan al interior del sistema y posteriormente se acumulen en el tanque recolector mientras que el agua sigue fluyendo a través de este. Este prototipo no especifica su modo de propulsión, pero reserva un campo en la parte posterior para su instalación, pudiendo aplicar un sistema basado en hélices o un motor de combustión.

Figura 14. Visualización completa de la patente CN201158816Y.



Fuente: (Guo Bolin et at., 2008)

En la tabla 2 se realizó la comparación de diferentes aspectos técnicos como el método de propulsión, tipo de armazón, sistema diseñado, capacidad de almacenamiento y método recolección de las patentes presentadas anteriormente, sin embargo, para calcular un aproximado de la capacidad de recolección que posee cada vehículo se realizó una estimación mediante el análisis de la imagen de cada uno de estos.

Tabla 2. Cuadro comparativo de patentes.

PRODUCTO	TIPO	PROPULSIÓN	ARMAZÓN	SISTEMA DE RECOLECCIÓN	CAPACIDAD
CN102020004B	Sistema autónomo	Doble propulsor de hélice	Casco catamarán	Cinta transportadora	15% del tamaño del sistema
CN2388111Y	Sistema manual	Propulsión hidráulica	Casco convencional	Colector de placa con empaquetadora	10% del tamaño del sistema
CN201158816Y	Sistema teleoperado	Rueda de paletas	Armazón convencional	Cinta transportadora	25% del tamaño del sistema

Fuente:(Propia de autor, 2023)

De las patentes investigadas se puede deducir que el sistema de recolección que utiliza cinta transportadora posee una mayor capacidad de limpieza de residuos, según el modelo del armazón dicha capacidad puede llegar a aumentar, por otro lado, el sistema autónomo pese a que no posee la mayor capacidad de almacenamiento, tiene la ventaja de que su sistema no requiere una gran cantidad de operadores humanos a diferencia de las demás patentes.

6.1.3. PROYECTOS DE TESIS.

En esta sección se presentan algunos proyectos de tesis relacionados al diseño de prototipos de robots móviles acuáticos, a continuación, veremos el análisis y la comparativa de dos trabajos de investigación.

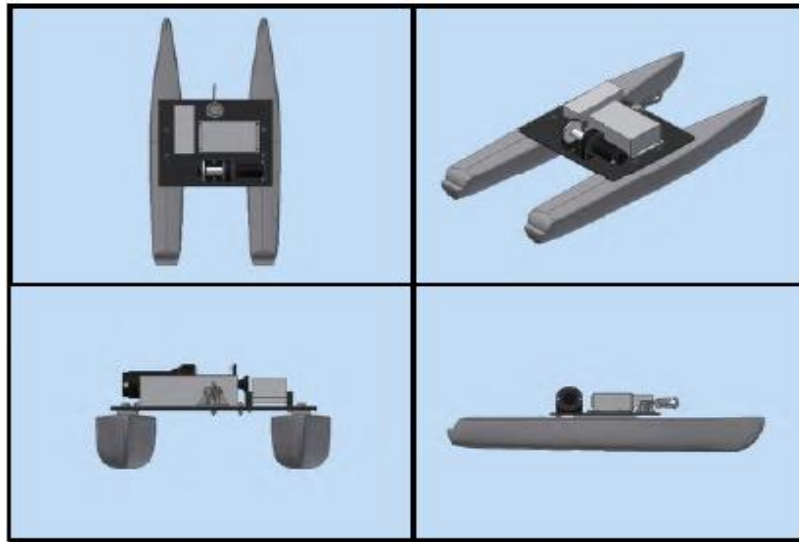
Diseño de plataforma de acople y miniRov para vehículos marinos de superficie. (Chávez & Isaac, 2018).

Se presenta el diseño de un vehículo operado a distancia el cual tiene la función de inspeccionar y monitorear la calidad del agua, nos ofrece información de la selección de componentes, al igual que una visión de la evolución de la robótica móvil. El autor de esta investigación divide su investigación en los siguientes componentes:

- Marco de referencia
- Diseño del sistema: expone el diseño del sistema mecánico, sistema de flotación, sistema de propulsión, fuente de energía y demás componentes tales como sensores y actuadores, los cuales cumplen la función de monitorear el sistema.
- Planos y presupuesto: análisis detallado de los costos relacionados a las partes mecánicas y electrónicas, se genera una comparación de que elementos poseen mayor viabilidad, partiendo de un presupuesto establecido, además de los requisitos fundamentales del sistema.
- Conclusiones y recomendaciones.

En la figura 15 se observa el modelo diseñado para este proyecto de investigación, este posee 2 cascos paralelos que retienen aire en su interior, por consiguiente, la densidad media del sistema total permite que adquiera la propiedad de flotabilidad.

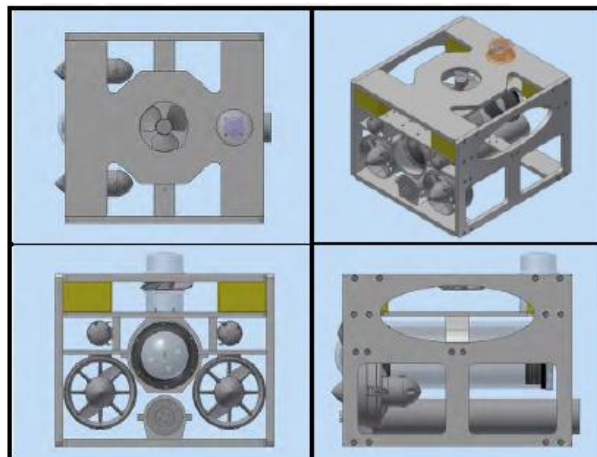
Figura 15. Diseño de plataforma de acople.



Fuente:(Chávez & Isaac, 2018)

En la figura 16 se observa el diseño del soporte donde se encapsulará el miniRov que tendrá la tarea de realizar el monitoreo del área hídrica, dicho soporte cuenta con ranuras que permiten el paso del agua a través de la estructura, además cuenta con 2 secciones tubulares que poseen aire lo que permite obtener una fuerza de empuje en dirección contraria al peso, con el fin de que el soporte no se hunda por completo.

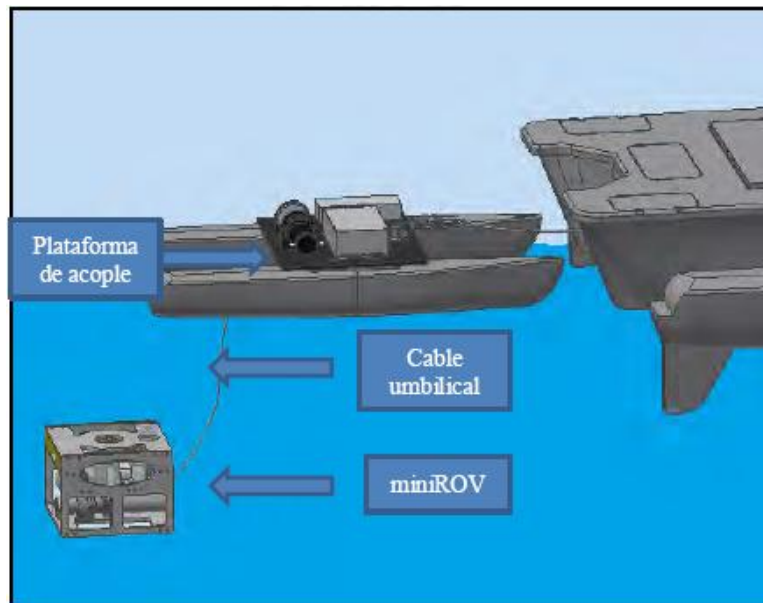
Figura 16. Soporte de miniRov.



Fuente:(Chávez & Isaac, 2018)

Finalmente, en la figura 17 se observan todos los elementos que componen el sistema, donde se detalla que el miniROV estará enlazada a la estructura flotante a través de un cable umbilical.

Figura 17. Visualización completa de los componentes del sistema.



Fuente:(Chávez & Isaac, 2018)

Diseño de equipo para recolección de residuos plásticos en aguas oceánicas. (Salinas & Fuentes, 2020).

Este trabajo investigativo está enfocado en la recolección de desechos plásticos en el mar, su diseño se compone principalmente de elementos resistentes a la corrosión causada por la salinidad del entorno, algunos de los materiales son acero inoxidable y aluminio, por otro lado, el proyecto cuenta con una cámara la cual tiene el objetivo de monitorear el almacenamiento de los residuos, además posee un sistema de iluminación para operar en condiciones de baja visibilidad.

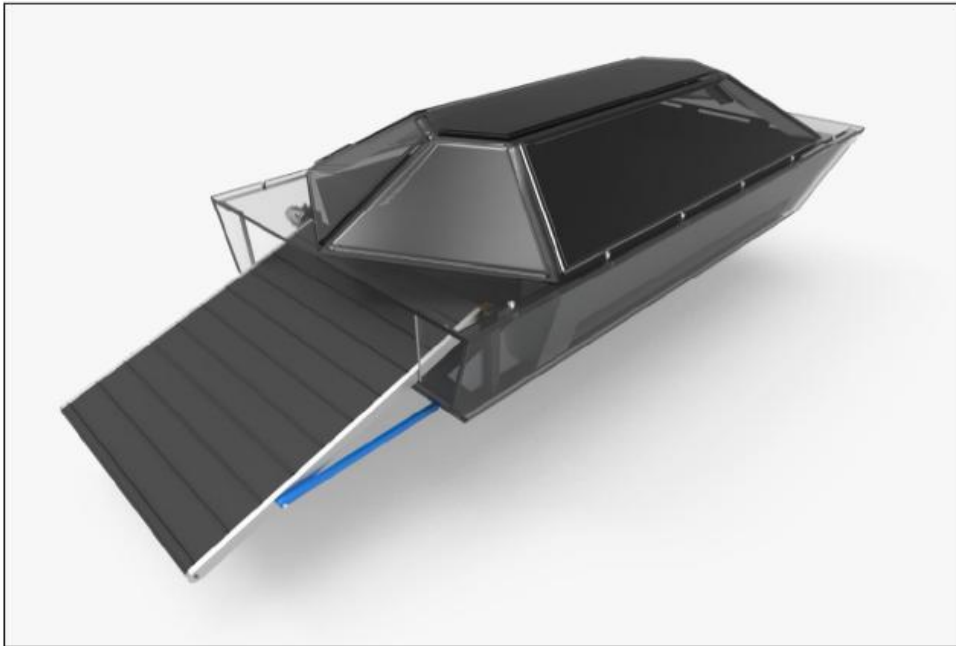
El equipo se controla de manera remota para permitir su implementación desde la orilla y aplicara un sistema de banda transportadora en la cual se llevarán los desechos recolectados a un compartimiento de almacenamiento.

El trabajo investigativo está conformado por los siguientes capítulos:

- Definición del problema: en este capítulo se platica acerca de la problemática mediante los antecedentes del problema, posteriormente se realiza el planteamiento del problema y la formulación, además, detalla los objetivos de la investigación, su justificación y las limitaciones el proyecto.
- Marco general: En esta sección se plasma el marco referencial, explicando cada detalle relevante de la contaminación de plásticos en los océanos y el tipo de embarcaciones o equipos con diseño adecuado para la resolución del problema, por la otra parte, en el marco teórico se realiza el análisis de los conceptos y de las diferentes variables que afectaran el proyecto a nivel de cálculo e implementación.
- Metodología: diseño de la investigación, modelos, planos y validación de prototipo.
- Diseño de la propuesta: análisis y comparativa de las necesidades del cliente, especificaciones del diseño, dimensionamiento y cálculos directos del sistema.
- Discusión: Los resultados obtenidos y una leve retroalimentación.
- Conclusiones y recomendaciones.

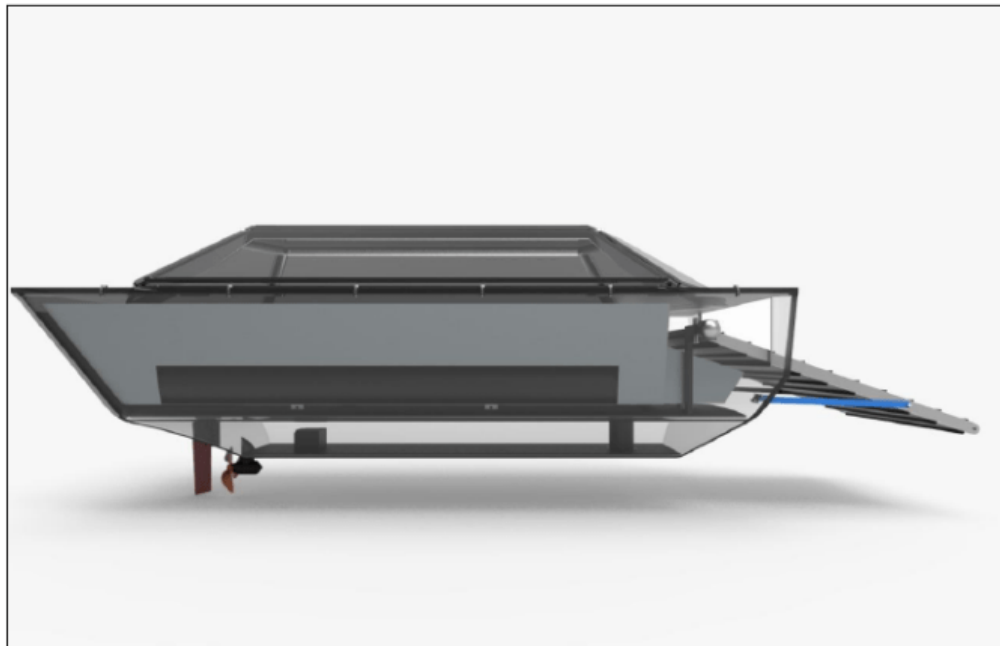
El diseño del prototipo (ver figura 18 & 19) se generó a partir de las necesidades del problema y de los requisitos que se identificaron en el entorno de aplicación, posteriormente el modelo se evaluó en una superficie que se asimilaba al agua del océano, la cual poseía residuos flotando en la superficie (ver figura 20).

Figura 18. Vista isométrica del prototipo diseñado por Salinas & Fuentes.



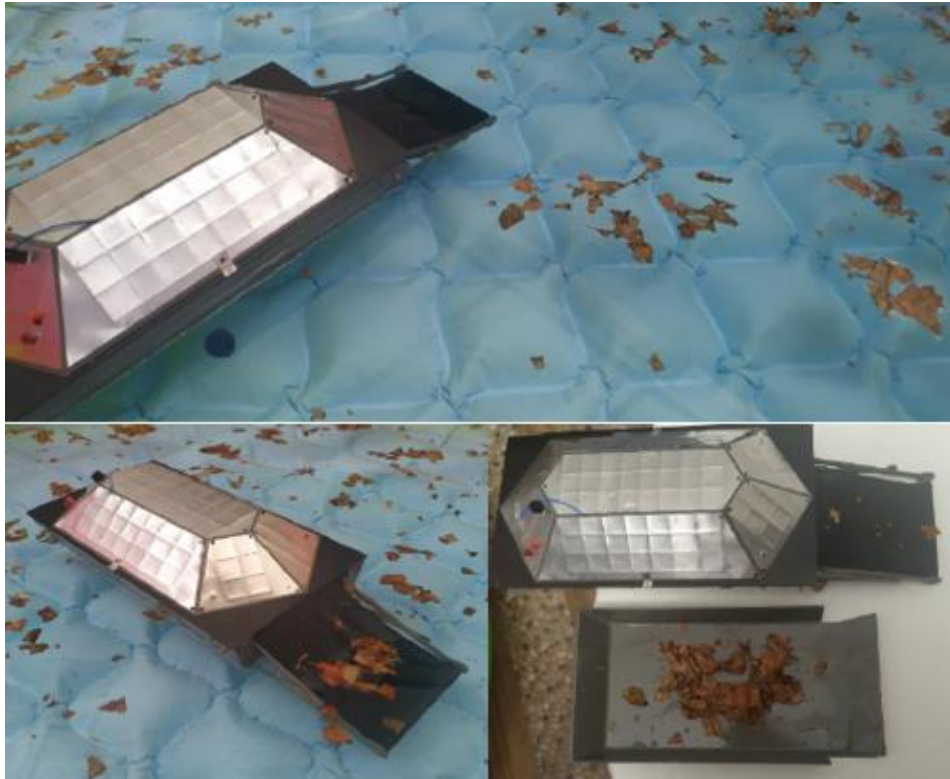
Fuente:(Salinas & Fuentes, 2020)

Figura 19. Vista lateral del prototipo diseñado por Salinas & Fuentes.



Fuente:(Salinas & Fuentes, 2020)

Figura 20. Implementación del prototipo diseñado por Salinas & Fuentes.



Fuente:(Salinas & Fuentes, 2020)

6.1.4. ARTÍCULOS DE PUBLICACIÓN.

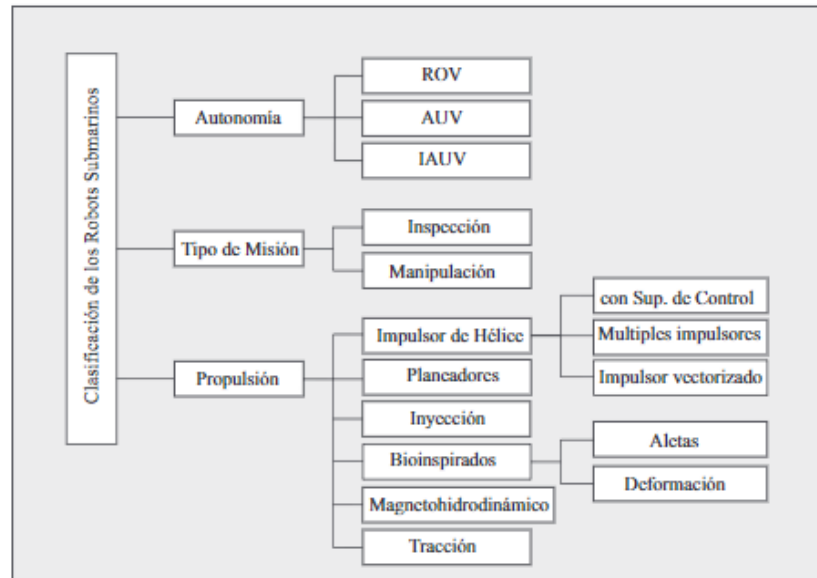
En esta sección se presenta un artículo científico que aborda temas relacionados al manejo de robots en ambientes acuáticos, este permite establecer parámetros de diseño al igual que clasificaciones pertinentes para el desarrollo del trabajo de investigación.

Robótica submarina: conceptos, elementos, modelado y control.

(Moreno et al., 2014).

En este artículo se obtiene información sobre la clasificación de los robots submarinos y sus componentes principales, se muestra la clasificación de los robots por el grado de autonomía, por tipo de misión y por tipo de propulsión como se detalla en la figura 21.

Figura 21. Clasificación de los robots submarinos.



Fuente:(Moreno et al., 2014)

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

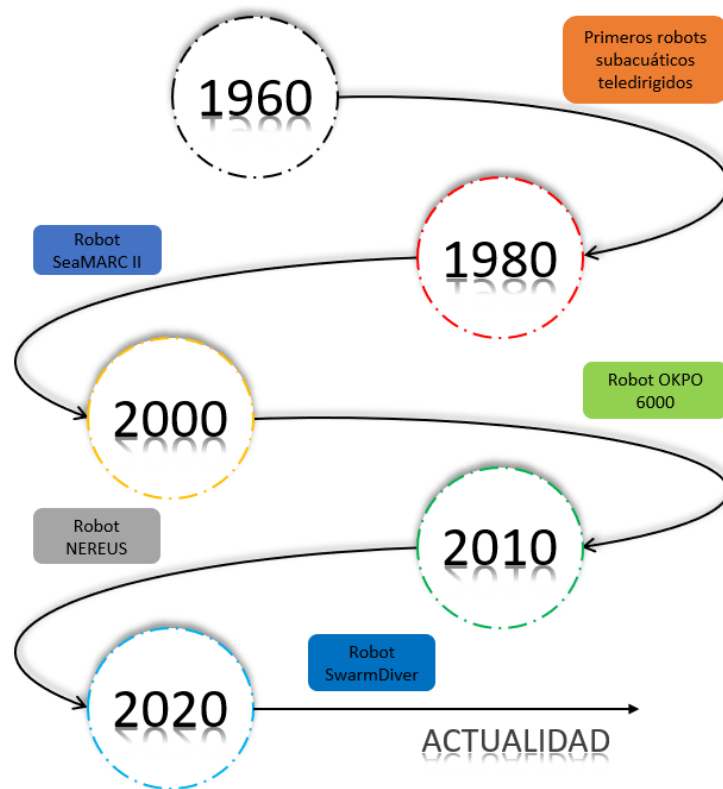
- Casco o estructura: Es el material que cubre o compone al robot para el montaje o protección de los componentes electrónicos.
- Controladores: Son los encargados de interpretar la información de los sensores y decidir qué acciones tomar. Estos pueden ser lógicos, digitales o programables.
- Comunicación: Se encarga de transmitir la información entre los componentes del robot. Esto puede ser a través de cables, radiofrecuencia, infrarrojos, entre otros.
- Sensores: Son los encargados de recopilar información del entorno para que el robot pueda tomar decisiones, se muestran tres tipos de sensores: posicionamiento, estado interno, y de medición del entorno.
- El sistema de propulsión: El encargado de realizar las fuerzas de desplazamiento del robot. Estos pueden ser motores, servomotores, etc.

6.2. MARCO HISTÓRICO.

6.2.1. DISEÑOS EN EL TIEMPO DE ROBÓTICA SUBACUÁTICA.

La robótica subacuática ha tenido un papel importante en la exploración y el estudio de los océanos o medios acuáticos durante décadas, estos autómatas son utilizados en una amplia variedad de aplicaciones como la exploración, monitoreo de calidad, monitoreo de vida, mantenimiento de estructuras submarinas y sistemas de restauración acuática, por consiguiente, a medida que la tecnología avanza la robótica subacuática va evolucionando con el fin de realizar tareas que involucren un mayor grado de complejidad. A continuación, se explicará brevemente la historia de la robótica subacuática y cómo ha evolucionado a lo largo de las últimas décadas.

Figura 22. Cronología simplificada de la robótica acuática.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

1960-1970. Se desarrollan los primeros robots subacuáticos teledirigidos los cuales permitieron un control por parte de los operadores desde la superficie, estos se implementaron en tareas de inspección e investigación. El primer robot acuático "Turbot" fue desarrollado por la Marina de EE. UU, este era capaz de tomar muestras del agua y suelo.

1980-1990 se desarrollan los primeros robots subacuáticos autónomos, capaces de realizar tareas de mapeo y cartografía del fondo marino., entre estos, los pioneros fueron los autómatas "SeaMARC I" y el "SeaMARC II.

El SeaMARC I fue un robot submarino que se utilizó en la década de 1980 para realizar cartografía marina con el fin de llevar a cabo diversas investigaciones científicas, estaba equipado con una serie de instrumentos científicos, como sistemas de navegación y sonar, por otro, tiempo después se creó el SeaMARC II, el cual se utilizó para realizar las mismas actividades que desempeñaba su antecesor, este fue desarrollado por la empresa australiana Hydroacoustics Pty Ltd y contaba con una serie de instrumentos científicos avanzados, tales como sistemas de navegación al igual que un sonar de alta resolución; Al igual que el SeaMARC I, el SeaMARC II podía operarse de forma autónoma o teleoperada. (Fornari et al., 1983)

1990-2000. Se construyen los primeros robots subacuáticos que pueden operar a varias profundidades, algunos poseían la capacidad de utilizar navegación satelital, estos fueron implementados para la monitorización del medio ambiente y del clima. Un referente de esta etapa es OKPO 6000, un robot submarino autónomo desarrollado por Daewoo Heavy Industries en Corea del Sur, el cual tenía la capacidad de sumergirse a un aproximado de 6.000 metros de profundidad y se utilizó principalmente para realizar estudios geofísicos y analizar la oceanografía, igualmente, contaba con cámaras y sónares para recoger datos y realizar observaciones. (Okpo 6000 – auvac, 2020)

2000-2010. Se desarrollan robots acuáticos capaces de realizar tareas relacionadas a investigaciones científicas, como el REMUS 6000 el cual fue desarrollado por la empresa estadounidense Hydroid, una subsidiaria de Kongsberg Maritime. El REMUS 6000 tenía la capacidad de sumergirse hasta 6.000 metros de profundidad y se utilizaba principalmente para realizar estudios oceanográficos y misiones militares, este cuenta con una variedad de herramientas, como cámaras, sónares y equipos de muestreo, los cuales tenían la función de recoger datos y realizar observaciones en el fondo del mar. (Oceanographic Systems Lab, s. f.)

2010-2020. Se desarrollaron robots acuáticos capaces de realizar tareas de exploración y recuperación de objetos sumergidos a grandes profundidades, un referente es el "NEREUS", que tenía la capacidad de buscar y localizar restos de aviones y barcos hundidos a aproximadamente 11000 metros de profundidad, este fue desarrollado por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (DARPA) y la Agencia Oceanográfica Nacional de los Estados Unidos (NOAA). Nereus fue construido por la empresa Deep Ocean Exploration and Research, Inc. (DOER).

Nereus tenía la capacidad de operar en modo autónomo al igual que controlado a distancia, lo que le permitía llevar a cabo investigaciones científicas en el fondo del mar de manera independiente o bajo la supervisión de investigadores en la superficie; El vehículo estaba equipado con una amplia variedad de equipos científicos, incluyendo sistemas de navegación, sensores, cámaras y sistemas de muestreo. Nereus participó en varias misiones científicas en el océano Pacífico y el océano Atlántico antes de sufrir una falla en 2014 y perderse en el fondo del océano Pacífico. (Bowen et al., 2008)

2020-actualidad. Se desarrollan robots acuáticos con sistemas de propulsión y maniobrabilidad avanzada, un referente es el "SwarmDiver", fabricado por la empresa Aquabotix, se trata de un vehículo híbrido que combina las características

de un vehículo submarino no tripulado (UUV) y un vehículo de superficie no tripulado (USV). Cada modelo mide 29,5 pulgadas de largo, pesa 3,7 libras y es capaz de sumergirse a más de 150 pies de profundidad, este se impulsa empleando dos motores de CC sin escobillas y puede nadar a una velocidad de hasta 4,9 MPH, además tiene una duración de la batería de aproximadamente 2,5 horas, lo que permite la capacidad de recorrer 4,3 millas por carga, por otro lado, puede realizar tareas como medir la temperatura o la presión, asimismo, este puede ser rastreado a través de GPS con una precisión de 3,3 pies de distancia, finalmente cuenta con la función de transmitir datos de forma inalámbrica una vez llega a la superficie. SwarmDiver ha sido diseñado para ser utilizado en conjunto con otros robots submarinos para formar enjambres o "cardúmenes" que pueden realizar tareas de manera más eficiente y rápida, podría aplicarse para actividades como defensa y seguridad, monitoreo ambiental o gestión de puertos. (Crowe, 2018).

6.2.2. ROBÓTICA SUBACUÁTICA Y LIMPIEZA DE RESIDUOS: CRONOLOGIA.

El uso de robots enfocados en la recolección de basuras y desechos en los océanos ha sido un objeto de interés en los últimos años debido a la creciente crisis ambiental que afecta al mundo. A continuación, se presenta una breve cronología de los principales hitos en el desarrollo de robots enfocados en la limpieza de masas de agua.

2000. Se desarrollaron los primeros robots para recoger basuras y desechos que podían ser controlados a distancia, un referente es el "EcoBin", el cual podía recoger basuras flotantes y desechos marinos.

2010. Se implementan los primeros robots para recoger basuras y desechos que podían operar de forma autónoma, un ejemplo de estos es el " SeaCleaner ", que poseía la capacidad de detectar y recoger basuras flotantes al igual que desechos del fondo marino.

2020. Se emplean robots para recoger basuras y desechos que cuentan con sistemas de inteligencia artificial, un referente en este campo es el "Seabin", el cual tiene la capacidad de agrupar basuras flotantes de los puertos y muelles para su posterior limpieza.

Actualidad. Se están desarrollando prototipos de limpieza marina que cuentan con sistemas de propulsión y maniobrabilidad avanzada, un referente es el "Marine Litter ROV", el cual posee la capacidad de recoger basuras flotantes y desechos del fondo marino en entornos profundos o de difícil de acceso.

6.3. MARCO TEÓRICO.

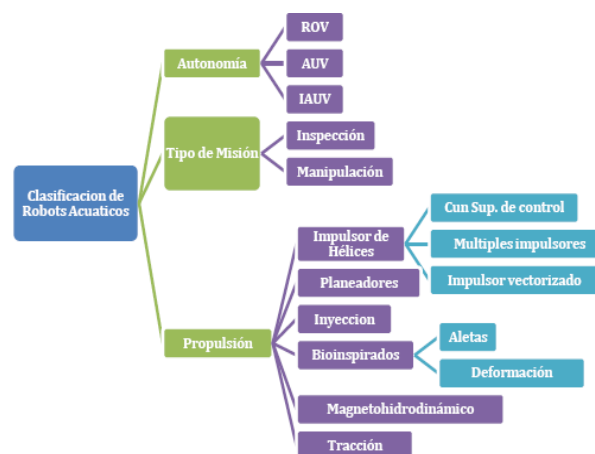
6.3.1. ROBOTS ACUATICOS.

Los robots acuáticos son un tipo concreto de vehículos, ya que estos son capaces de transportarse a través de medios hídricos, según Meza, & Forero (2015) estos requieren ciertas consideraciones importantes a tener en cuenta, las cuales son:

1. Un robot acuático tiene 6 grados de libertad lo que permite un movimiento en 3 dimensiones diferentes, al igual que los robots aéreos.
2. La atracción gravitacional es un factor que pierde relevancia debido a la densidad del agua y al flujo de agua desplazado por el cuerpo del robot.
3. El ensamblaje del robot debe ser estático y resistente a la corrosión, además, se deberá tener en cuenta la presión a medida que este desciende a las profundidades

Como se observa en la figura 23 Los robots acuáticos pueden clasificarse por su autonomía, la cual puede ser automática, radio controlada o híbrida, además, se pueden catalogar a partir de su función, ya sea la de inspeccionar o la de manipular. Según el tipo de actividad que desarrolle se definirá la estructura correspondiente al igual que los tipos de sensores, sistemas de propulsión y fuentes de energía.

Figura 23. Clasificación de robots acuáticos.



Fuente:(Meza, & Forero, 2015)

6.3.1.1. ROBOTS ACUÁTICOS ROVS.

Según Meza, & Forero (2015) los robots operados remotamente (Rovs), son aquellos que se controlan a través de comunicación alámbrica, lo que le permite a un operador ubicado en la superficie transmitir parámetros que se traducirán eventualmente a instrucciones, al igual que recibir los datos recolectados por los sensores, por otro lado, estos se pueden energizar de manera directa ya que se puede emplear el cable de conexión para dicha tarea. En la actualidad, este tipo de robots se emplean para actividades relacionadas a la inspección y/o reparación en estructuras marítimas de dedicadas a la explotación de hidrocarburos.

6.3.1.2. ROBOTS ACUÁTICOS AUVS.

Los robots AUVs (Autonomous Underwater Vehicle) son aquellos que poseen fuentes de energía recargable, al igual que la capacidad de realizar tareas sin la supervisión de un operario, además se comunican a través de protocolos inalámbricos lo que permite una mayor maniobrabilidad en diferentes ambientes, gracias a dichas características son usados en actividades relacionadas a la investigación y en los últimos años se han implementado en temas relacionados a la vigilancia y seguridad (Meza, & Forero ,2015).

6.3.1.3. ROBOTS ACUÁTICOS IAUVS.

Originalmente habían sido diseñados para realizar tareas de observación, sin embargo, en los últimos años se han implementado para actividades de manipulación, este tipo de robots es el resultado de fusionar las características destacables de los modelos anteriores, dando como resultado, dispositivos con mayores aptitudes al momento de realizar tareas, además poseen la capacidad transmitir información de forma paralela de los diversos datos recolectados en tiempo real (Monroy,2016).

6.3.2. SISTEMAS DE DESPLAZAMIENTO.

Una de las principales problemáticas en la construcción de robots acuáticos es el diseño de sistemas de desplazamiento, ya que estos deben ser óptimos para que el prototipo tenga la capacidad de moverse de manera eficaz, al igual que maniobrar con precisión en diferentes entornos hídricos. Existen varios tipos de sistemas para el desplazamiento de robots acuáticos, cada uno con sus propias ventajas y desventajas, entre estos encontramos los sistemas de propulsión a través de turbinas (figura 24), sistema de propulsión por chorros (figura 25), y sistemas de propulsión por aletas (figura 26).

En los sistemas de propulsión por turbinas, se suelen usar motores eléctricos que le permiten a dichas turbinas desplazarse a diferentes velocidades, lo que permite una maniobrabilidad efectiva, se suelen usar en labores de buceo.

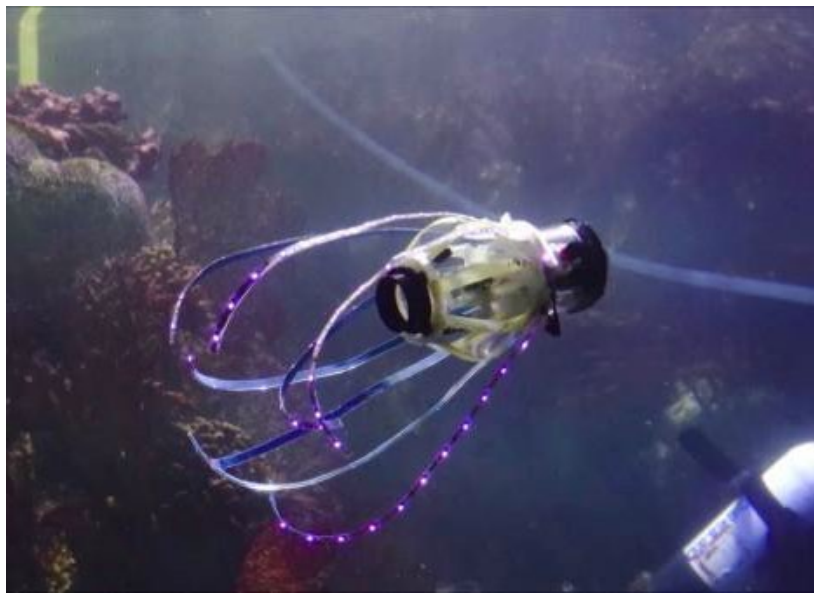
Figura 24. Robot acuático impulsado por sistema de turbinas.



Fuente:(Almarza, 2022)

El sistema de propulsión a chorro utiliza dispositivos y mecanismos que permiten desplazar al robot a través de la descarga de chorros de agua a alta presión, los chorros de agua son generalmente más eficientes que las hélices, pero también son más complejos, costosos y requieren de sistemas de control más sofisticados, un ejemplo de este tipo de robots es el “SquidBot” desarrollado por University of California San Diego, el cual asemeja su movimiento al de un calamar.

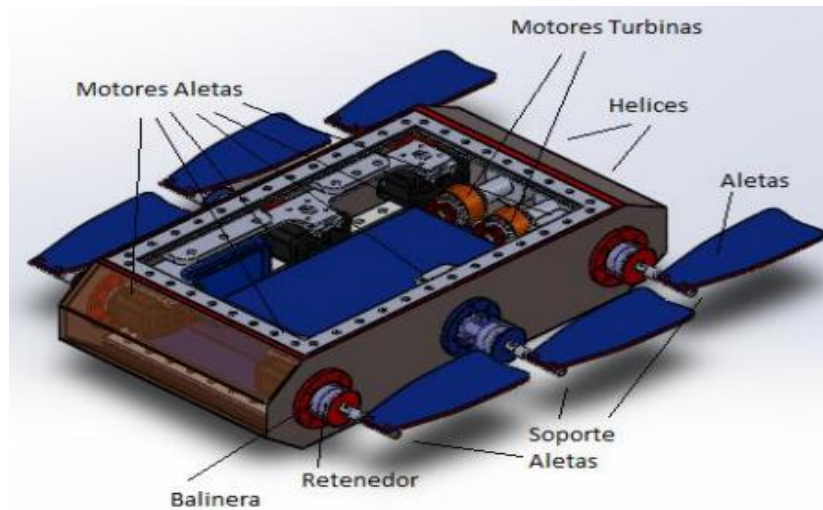
Figura 25. Robot acuático impulsado por sistema a chorros.



Fuente:(Lavars, 2020)

El sistema de propulsión a través de aletas emplea actuadores que imitan los movimientos de algunos animales acuáticos, lo que permite obtener eficiencia en la maniobrabilidad, sin embargo, requieren de una cantidad significativa de energía para funcionar.

Figura 26. Robot acuático impulsado por sistema de aletas.



Fuente:(Meza, & Forero ,2015)

En conclusión, los sistemas de desplazamiento de los robots acuáticos son un componente fundamental a la hora de realizar el diseño, ya que desempeñan un papel primordial en el movimiento y su posterior maniobrabilidad en el entorno acuático, por consiguiente, afectara directamente a la misión que realizara el autómeta.

6.3.3. PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES.

El principio de Arquímedes es un principio físico el cual establece que todo cuerpo sumergido en un fluido experimentara una fuerza ascendente de igual valor al peso del fluido desplazado por el cuerpo, esto significa que cuando un objeto se sumerge en un líquido, como el agua, ejerce una fuerza hacia arriba de igual peso al del agua desplazada, por lo tanto, dicho principio podrá determinar si el robot de recolección de residuos será capaz de flotar o por el contrario se hundirá, para comprobar esto se tomara en cuenta dos fuerzas, las cuales son el peso del robot, la cual es una fuerza vertical hacia abajo y el empuje, la cual actúa de manera vertical hacia arriba, adicional a esto se tendrá en cuenta el peso con el robot para la flotabilidad, esta se obtiene a través de la ecuación 1.

$$Pe = \frac{W(kg)}{V(m^3)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde Pe = peso específico, W = peso del cuerpo y V = volumen.

6.3.3.1. CALCULO DE FLOTABILIDAD.

Para el cálculo de flotabilidad se debe tener en cuenta la densidad, ya que esta permite determinar la relación entre la masa y el volumen para poder aplicar el teorema de Arquímedes. Si la densidad de un cuerpo es menor a la densidad que posee el fluido en el que se encuentra, entonces el cuerpo flotará, por el contrario, si la densidad del cuerpo es mayor a la que posee el fluido, entonces el cuerpo se hundirá, por lo tanto, al conocer la densidad del fluido y la del cuerpo, se puede determinar si el cuerpo flotará o se hundirá. Es importante tener en cuenta que la densidad del agua puede variar dependiendo de la temperatura y de la presión;

Por medio de la densidad del fluido y las fuerzas que actúan podemos determinar la fuerza de flotación, esto se obtiene por medio de la ecuación 2.

$$Fe = \rho \cdot V \cdot g \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde

Fe = Fuerza de empuje.

ρ = densidad del fluido.

V = Volumen del objeto.

g = Aceleración debida a la gravedad.

Donde la aceleración debido a la gravedad es igual a $9,8 \text{ m/s}^2$.

Luego se debe calcular el peso del objeto, este se calcula utilizando la ecuación 3.

$$W = m \cdot g \quad (\text{Ecuación 3})$$

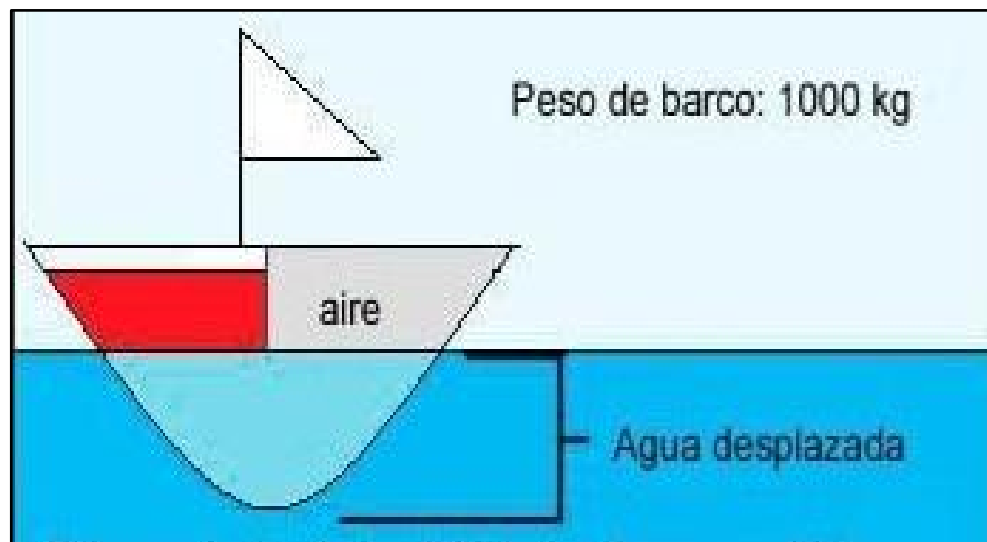
Una vez que se han calculado la fuerza de empuje y el peso del objeto, se puede determinar si el objeto flotará o se hundirá comparando estas dos fuerzas. Si la fuerza de empuje es mayor a la del peso del objeto, entonces el objeto flotará, por contrario si el peso del objeto es mayor que la fuerza de empuje, entonces el objeto se hundirá.

6.3.3.2. DISEÑO PARA LA FLOTABILIDAD

Para que el robot tenga la capacidad de flotar en el agua su forma o diseño debe ocupar un mayor volumen interno de aire, ya que esto permitirá obtener un mayor peso del líquido desplazado, por consiguiente, se obtendrá la fuerza de empuje que permitirá dicha flotabilidad como se observa en la figura 27, gracias a este principio los barcos pueden flotar a pesar de que estén hechos de aceros y demás materiales “pesados”.

Es importante tener en cuenta que la forma y el tamaño del objeto pueden afectar su peso, ya que estos factores pueden afectar la masa del objeto, por lo tanto, al diseñar la flotabilidad de un objeto, es importante tener en cuenta dichas premisas.

Figura 27. Flotabilidad de un objeto.



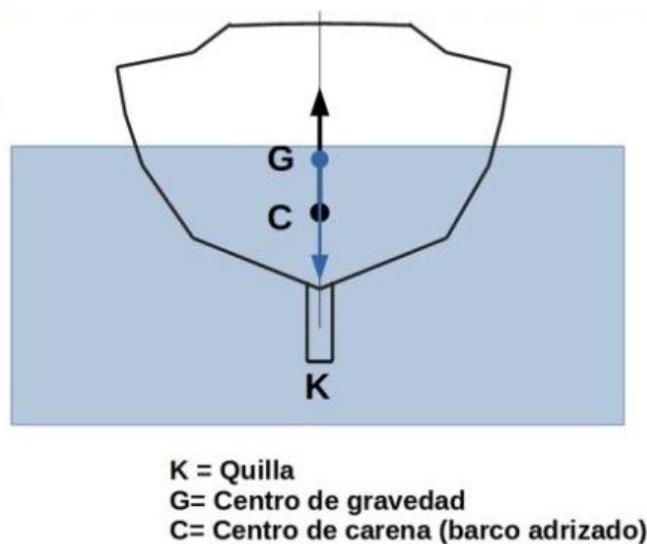
Fuente:(Padial, 2013)

6.3.3.3. ESTABILIDAD TRANSVERSAL.

La estabilidad transversal es la capacidad de un objeto flotante de mantener su posición y dirección cuando se somete a fuerzas externas, como olas o viento, esta es de gran importancia para garantizar la seguridad y el control, ya que por ejemplo un barco inestable puede llegar a volcar o naufragar si no se tiene en cuenta dicha estabilidad. Para garantizar la estabilidad transversal de un sistema de flotabilidad, se debe diseñar apropiadamente la forma y el tamaño del casco, así como la ubicación y el tamaño de los tanques de lastre y de carga, igualmente es importante tener en cuenta la distribución del peso a lo largo del sistema de flotación y el centro de gravedad de este.

La estabilidad transversal de un sistema de flotabilidad se puede medir usando el momento de inercia transversal, el cual se define como una medida de la resistencia del barco a volcar, por consiguiente, un barco con un alto momento de inercia transversal tendrá una mayor estabilidad transversal que un barco con un bajo momento de inercia transversal, en la figura 28 González & Lacalle (2020) exponen la estabilidad transversal inicial que un debería barco debería poseer, donde el centro de gravedad se contrarresta con el centro de carena.

Figura 28. Estabilidad transversal inicial.



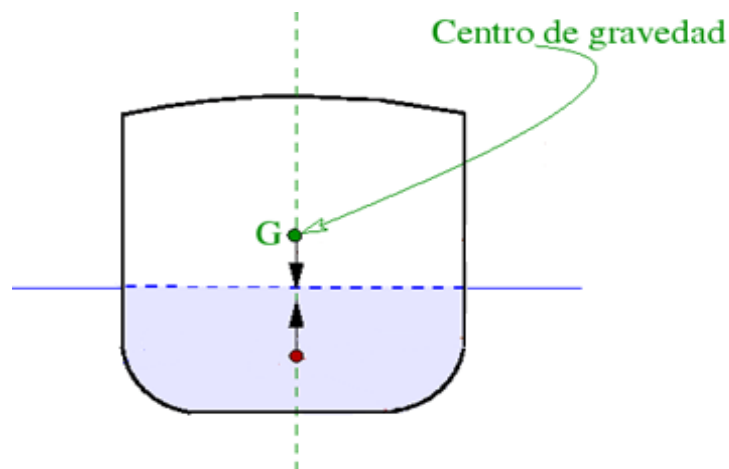
Fuente:(González & Lacalle, 2020)

Cuando un barco se inclina debido a una fuerza externa, como una ola o un viento fuerte, se produce una cuña de emersión en un costado y una cuña de inmersión en el otro costado, por lo tanto, provoca que el centro de carena, que es el punto medio de la sección sumergida del barco, cambie de posición.

6.3.3.4. CENTRO DE GRAVEDAD.

El centro de gravedad de un sistema de flotación es el punto en el que se concentra todo el peso del sistema, este es importante para determinar su estabilidad en el agua y cómo se comportará cuando se someta a fuerzas externas, como el viento o las olas, además, la posición del centro de gravedad puede ser influenciada por varios factores, como la distribución de la carga a lo largo del sistema de flotación, el desplazamiento de lastre y la forma y el tamaño del casco. Al diseñar el sistema de flotación, es importante tener en cuenta la posición del centro de gravedad para garantizar su estabilidad en el agua, por ejemplo, un cuerpo con un centro de gravedad alto será más estable que un cuerpo con un centro de gravedad bajo, en la figura 29 Cuesta López & Lema Calidonio (2009) detallan el centro de gravedad de un objeto flotante.

Figura 29. Centro de gravedad en objetos flotantes.

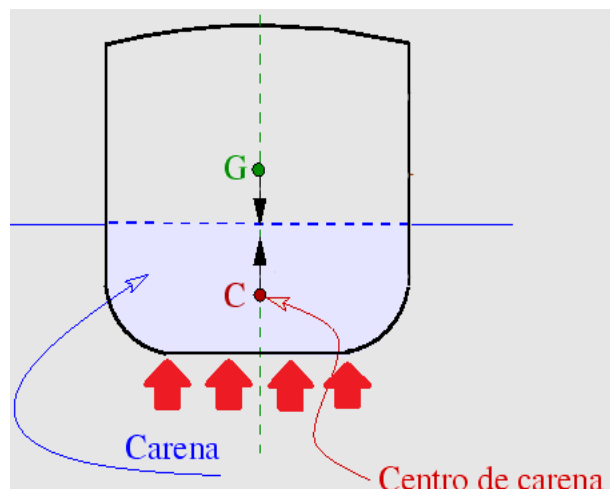


Fuente:(Cuesta López & Lema Calidonio, 2009)

6.3.3.5. CENTRO DE CARENA.

El centro de carena es diferente del centro de flotación, ya que este centro de carena se ubica en el centro geométrico de la figura sumergida como se observa en la figura 30, y en él se aplica una fuerza vertical hacia arriba equivalente al peso total de la embarcación, mientras que el centro de flotación es el punto en el que se concentra toda la fuerza de flotación que ejerce el agua sobre el casco de la embarcación. La importancia del centro de carena radica en que se puede determinar el comportamiento de la embarcación en el agua, al igual que la posible inclinación cuando este se someta a fuerzas externas.

Figura 30. Centro de carena en embarcaciones.



Fuente:(Cuesta López & Lema Calidonio, 2009)

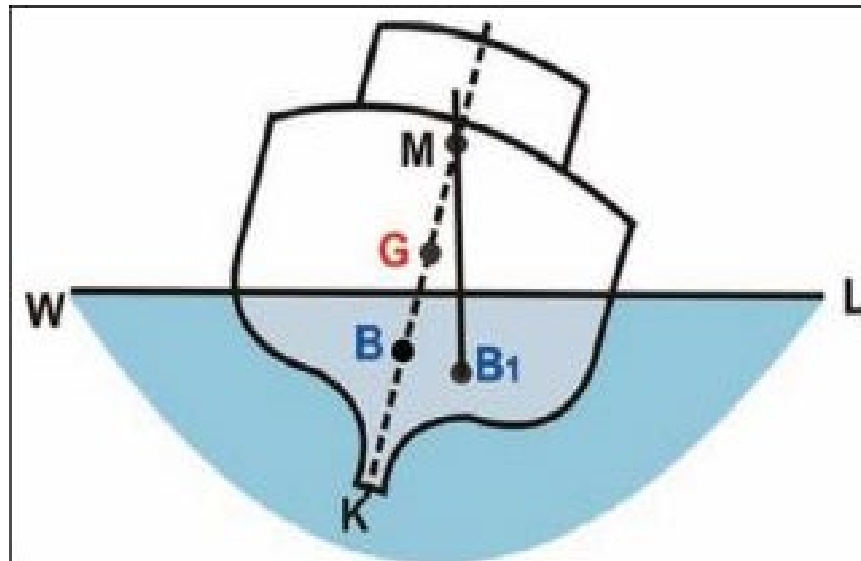
6.3.3.6. METACENTRO.

Parada (2010) define al metacentro como el punto de intersección de las líneas verticales que atraviesan el centro de carena al igual que el centro de flotación en un momento de inclinación, generalmente dicha inclinación en la embarcación es ocasionada por una fuerza externa, como una ola o un viento fuerte, esta se puede equiparar a un eje central cuando la embarcación está inclinada a pequeños ángulos de escora.

La altura del metacentro se mide desde el punto de referencia K y se denomina KM, la importancia de esta radica en que es determina la estabilidad transversal de una

embarcación, por otro lado, la posición del metacentro también puede ser utilizada para calcular el momento de inercia transversal de una embarcación, en la figura 31 Valerio Mena & Rodríguez Castillo (2000) sitúan los puntos donde actúa el metacentro de una embarcación.

Figura 31. Metacentro de una embarcación.



Fuente:(Valerio Mena & Rodríguez Castillo, 2000)

6.4. MARCO TÉCNICO.

A continuación, se definirá diseño conceptual del prototipo ya que es crucial para garantizar su eficacia y un funcionamiento óptimo. Durante esta etapa, se concretarán las características al igual que las funciones principales del prototipo, así como se identificarán y considerarán las posibles condiciones de diseño que pueden afectar su desempeño, por consiguiente se tendrán en cuenta factores como la capacidad de almacenamiento, la movilidad en ambientes acuáticos, los sistemas de detección y procesamiento de residuos, las condiciones ambientales al igual que las medidas de seguridad, entre otros aspectos relevantes para garantizar un diseño efectivo y sostenible.

6.4.1. FUNCIONALIDAD.

El proyecto se centra en la recolección efectiva de residuos sólidos en ambientes acuáticos, por consiguiente, la funcionalidad principal del dispositivo consistirá en utilizar una acción de arrastre para recoger dichos residuos, lo que implica empujar una canastilla para recoger desechos medianos y utilizar una red para filtrar los residuos más pequeños.

Aunque esta tarea parece sencilla, la implementación requiere una planificación cuidadosa y una consideración de las distintas operaciones que deben ser llevadas a cabo para lograr una solución efectiva. Por ejemplo, la programación y software del robot al igual que la física y mecánica del sistema pueden tener un impacto en la eficacia y eficiencia de la solución, por lo tanto, es importante enfocarse en la parte circundante a la física de flotabilidad al igual que en la mecánica del diseño para garantizar una solución sostenible y efectiva. Además, es crucial tener en cuenta cualquier condicionante ambiental que pueda afectar el diseño y la construcción del prototipo, incluyendo la geología, la topografía, la hidrología y la contaminación presente en el ambiente acuático, ya que estos factores pueden llegar a afectar la sostenibilidad y eficacia a largo plazo del dispositivo.

6.4.2. MECANISMO DE RECOGIDA Y TAMAÑO DEL RESIDUO.

La función principal del sistema de recolección de residuos es recoger y almacenar los desechos a través del proceso de arrastre, para ello la canastilla de recolección, la forma del casco y la red en la parte trasera estarán diseñadas para cumplir con dicha tarea, permitiendo que los residuos sean atraídos y almacenados eficientemente. Sin embargo, debido a la fase inicial del prototipo, existen algunas limitaciones en cuanto a la eficacia y la sofisticación del mecanismo de recolección.

El tamaño de los residuos sólidos también influye en las dimensiones y la capacidad del sistema, lo que significa que tanto la geometría del robot como la canastilla y la red deben ser cuidadosamente consideradas. Además, la función principal de arrastre limita en cierta medida la capacidad del robot para desplazarse libremente, ya que es necesario asegurarse de que los residuos sean retenidos y almacenados de manera segura en todo momento. A pesar de estas limitaciones, este prototipo es un punto de partida importante y en trabajos futuros se pueden implementar mecanismos de recolección más eficientes, además una automatización al igual que programación integrada con IA serán prioritarias en el futuro.

El proyecto se centra en la recolección de residuos de tamaño moderado y pequeño, específicamente aquellos con una proporción no mayor a una botella de refresco de 300 ml. Para ello, se ha diseñado una canastilla de recolección que pueda contener entre 5 y 6 residuos de este tamaño, al mismo tiempo que se llevará a cabo la filtración de microplásticos de no menos de 5 micrómetros de diámetro. La recolección de los residuos será ejecutada siguiendo las especificaciones detalladas en las secciones 6.4.3, 6.4.4 y 6.4.5.

6.4.3. DETECCIÓN DEL RESIDUO.

En esta fase inicial, la detección y selección de residuos será realizada por el operador que controle el robot, sin embargo, en versiones futuras se implementará inteligencia artificial para automatizar la detección y recolección de residuos en el agua mediante sensores, cámaras y análisis de imágenes. Se buscará maximizar

la estabilidad del robot en un entorno acuático cambiante para mejorar la calidad de la recolección.

6.4.4. ACERCAMIENTO AL RESIDUO.

El robot se acercará a los residuos flotantes en superficies acuáticas con una trayectoria controlada para lograr una recolección efectiva, para ello se podrán hacer correcciones en la trayectoria con el sistema de radio control, por ejemplo, se podría calibrar la velocidad de los motores, por otro lado, el diseño está estructurado para minimizar los efectos del medio en el casco del robot.

6.4.5. RECOGIDA Y DESCARGA DEL RESIDUO.

Para lograr una eficiente maniobrabilidad del robot cuando se encuentre cerca del residuo, será importante tener en cuenta tanto la elección y posición de los sistemas de propulsión como la malla de recolección de residuos, ya que esta estará acoplada en la parte trasera, lo que permitirá que el dispositivo pueda recoger el residuo únicamente usando su propio movimiento, y la elección y posición de los sistemas de propulsión serán clave para lograr una amplitud de movimientos adecuada en espacios limitados, además, es fundamental que el robot tenga la capacidad de orientarse y posicionarse correctamente tanto durante la recolección como durante la descarga del residuo, por consiguiente, esto permitirá un proceso eficiente y seguro.

6.4.6. ENTORNO OPERATIVO.

6.4.6.1. MEDIO FLUIDO.

El prototipo está diseñado para operar en aguas estables con poco oleaje, y no se recomienda su uso en aguas con fuerte turbulencia como ríos o el mar. Aunque las aguas dulces como lagos y lagunas son más estables que las marinas, siguen siendo un medio fluido y naturalmente inestable y cambiante.

La elección adecuada del casco del robot es esencial para minimizar la interacción del medio con el rendimiento del robot, por lo tanto, se dedicará una gran cantidad de esfuerzo al diseño y optimización del casco para asegurarse de que cumpla las necesidades propuestas, con el fin de que tenga éxito en su tarea de recoger residuos en aguas estables con poco oleaje.

6.4.6.2. ESTANQUEIDAD.

Es crucial que el diseño del prototipo sea hermético y a prueba de filtraciones de agua para evitar posibles fallos en su desempeño, ya que una filtración de agua podría afectar negativamente la funcionabilidad o el estado del robot por diversas razones, entre ellas se destacan:

- Aumento del peso y hundimiento: es el principal motivo por el que se debe asegurar la estanqueidad del robot debido a que una filtración de agua aumentaría el peso interno del robot y, como resultado, la densidad media del sistema, lo que provocaría un aumento en el calado, es decir, un hundimiento excesivo del casco, por consiguiente, se podría incapacitar completamente al robot y, en el peor de los casos causar un naufragio.
- Dañar componentes: Las filtraciones de agua pueden tener un impacto negativo importante en los componentes electrónicos del robot, especialmente en aquellos que no están diseñados para ser resistentes a la exposición a líquidos. La CPU, los módulos electrónicos y los controladores son componentes críticos que pueden sufrir graves daños si se produce una filtración de agua en el interior del robot, ya que se pueden generar cortocircuitos en los componentes, lo que puede resultar en un fallo total del dispositivo. Además, el agua puede oxidar los componentes y acelerar su deterioro, lo que puede llevar a problemas en el futuro.

- Pérdida de equilibrio estático y estabilidad hidrodinámica: Si la filtración de agua en el dispositivo es parcial, es decir, que solo afecta a ciertas áreas, puede causar desequilibrios en la inclinación longitudinal o transversal del dispositivo, esto podría llevar a la inclinación general de la estructura, lo que puede resultar en el vuelco del prototipo.

La evolución de la electrónica y el modelismo naval ha hecho posible conseguir motores brushless y servos resistentes al agua. Hoy en día, garantizar la estanqueidad de un sistema ya no es un problema, ya que existe una amplia variedad de soluciones y componentes con resistencia al agua.

Estos elementos cumplen con normativas y estándares que les otorgan una calificación específica en cuanto a la protección frente a agentes externos. Hay dos normas internacionales que se utilizan en este sentido: la calificación IP y la calificación NEMA.

La calificación IP se basa en dos dígitos y evalúa el grado de protección frente a sólidos y líquidos. El primer dígito indica el grado de protección frente a sólidos, mientras que el segundo se refiere a la protección frente a líquidos. A medida que aumenta el valor de los dígitos, también lo hace el grado de hermeticidad y robustez del componente.

En resumen, la tecnología ha avanzado y actualmente existen soluciones y componentes electrónicos que están diseñados para soportar ambientes acuáticos, lo que garantiza la seguridad y durabilidad de los sistemas marítimos.

6.4.6.3. FLOTACIÓN Y ESTABILIDAD.

Los dos mayores retos que tendremos que superar durante este proyecto son la flotabilidad y la estabilidad, a continuación, se profundizara en estos dos conceptos.

- FLOTACIÓN: Un cuerpo en flotación está sometido a fuerzas hidrostáticas en las áreas que están sumergidas, los principios que definen estas fuerzas pueden aplicarse al cálculo de la resultante para un cuerpo totalmente sumergido o parcialmente (flotación), por consiguiente, se determinan las dos leyes sobre flotación que fueron propuestas por Arquímedes en el siglo III A.C (Terán, 2014), siendo estas:
 1. Un cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza de flotación vertical igual al peso del fluido que desaloja.
 2. Un cuerpo que flota desaloja su propio peso en el fluido en que flota.

La fuerza de flotación o empuje actúa en el centro de volumen del cuerpo, también conocido como centro de flotación, identificado con la letra F o CF. Es importante destacar que este punto de acción de la fuerza no necesariamente coincide con el centro de gravedad, que puede ser diferente debido a la variabilidad de la densidad del cuerpo.

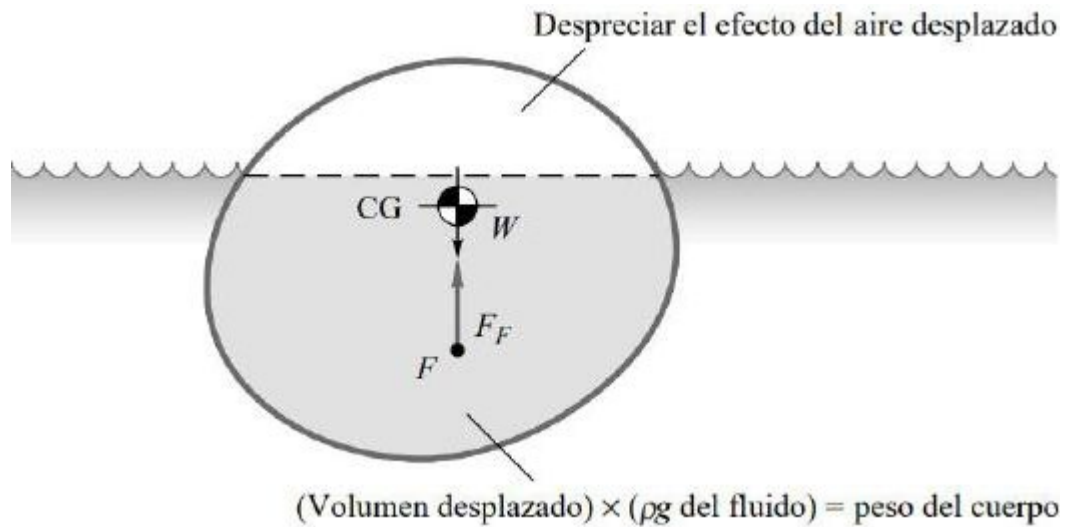
Cuando un cuerpo flota, sólo una parte de este se encuentra sumergido, mientras que la otra parte se mantiene sobre la superficie. La Figura 32 ilustra este fenómeno, mostrando el volumen sombreado, por otro lado, La ecuación 2, representada en el marco teórico en la sección 6.3.3.1, se aplica a dicho fenómeno.

Siendo las condiciones del proyecto,

ρ = densidad del medio (agua dulce) =1000 kg/m³.

g = Aceleración debida a la gravedad =9,81 m/s²

Figura 32. Equilibrio estático de un cuerpo en estado de flotación.



Fuente:(White, 2003)

Es fundamental considerar el equilibrio entre el volumen desplazado y el peso real del robot durante el diseño del casco y el cálculo de pesos. Esto garantizará que el robot flote correctamente y tenga una estabilidad adecuada en el agua.

- **ESTABILIDAD:** Es crucial tener en cuenta la estabilidad en la flotación durante el diseño del robot acuático para evitar inestabilidades. Una forma de verificar la estabilidad de una posición de equilibrio es aplicando una pequeña "perturbación" matemática al cuerpo y determinar si existe un momento restaurador que lo devuelva a su posición original. De acuerdo con White (2003), si esto sucede, la posición es estable; de lo contrario, es instable.

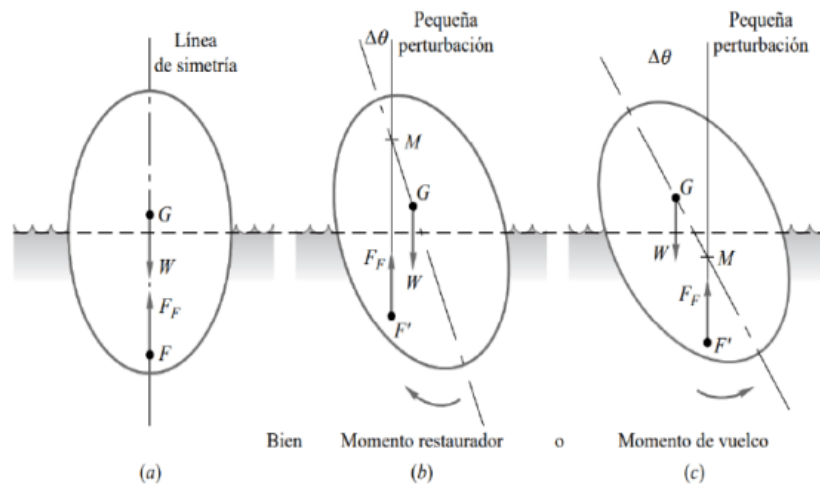
Los pasos para aplicar son los siguientes:

1. La posición inicial de flotación se calcula con la ecuación 2, se calculan asimismo el centro de gravedad G y el de flotación F.
2. Se desvía al cuerpo un pequeño ángulo $\Delta\theta$, apareciendo una nueva línea

de flotación, posteriormente se calcula el nuevo centro de flotación F' . La vertical trazada desde F' corta a la línea de simetría en el punto M , denominado metacentro, que es independiente de $\Delta\theta$ si éste es pequeño.

3. Si el punto M está por encima de G (es decir, si la altura metacéntrica $G\bar{M}$ es positiva) aparecerá un momento restaurador y decimos que la posición original es estable. Si M está por debajo de G ($G\bar{M}$ negativa), el cuerpo es inestable y volcará a la mínima perturbación. Cuanto mayor sea $G\bar{M}$ más estable será la posición original.

Figura 33. Cálculo de la altura metacéntrica M de un cuerpo flotante.



Fuente:(White, 2003)

Por lo tanto, se deberá tener mucho cuidado con la distribución de pesos del dispositivo diseñado, y se debe asegurar que la altura metacéntrica sea lo más grande (y positiva) posible, para ello se debe bajar el centro de gravedad del prototipo ya que si el centro de gravedad G , está por debajo del centro de flotación ($G\bar{F}$ es positiva) el cuerpo será siempre estable. Según el plano en el que se produzca la inestabilidad podemos definir la escora, que es la inestabilidad

producida en el plano transversal y el trimado, referido a las inestabilidades en el plano longitudinal.

6.4.6.4. MEDIO CORROSIVO.

El agua es un medio altamente oxidante, lo que significa que tiene una gran capacidad de oxidación y corroído de materiales, por lo tanto, es esencial tener en cuenta este factor al elegir los materiales y métodos de protección adecuados para aplicaciones en entornos húmedos o sumergidos en agua. Una opción efectiva para proteger los materiales contra la oxidación es el uso de recubrimientos, sellantes o pinturas especializadas que actúan como barreras contra la entrada de agua y evitan la oxidación, estos recubrimientos pueden ser aplicados a una amplia gama de materiales, desde metales hasta materiales compuestos, y pueden ser personalizados para cumplir con los requisitos específicos del presente proyecto.

6.4.6.5. IMPERMEABILIDAD.

Para garantizar la protección de los componentes en un sistema de flotación que estará expuesto al agua, se deberá implementar una combinación de medidas de impermeabilización, tales como sellos herméticos, recubrimientos impermeables y conectores impermeables. Estas medidas ayudarán a prevenir la entrada de agua y, por lo tanto, protegerán los componentes electrónicos y mecánicos del sistema contra la oxidación y la corrosión. De esta manera, se asegurará la continuidad del correcto funcionamiento del sistema y se prolongará su vida útil.

6.4.7. FABRICACIÓN, MATERIALES Y COSTES.

El diseño está concebido para la fase de prototipo, lo que significa que la elección de materiales y procesos de fabricación son cruciales y tienen un impacto directo en los costos. Para asegurar un diseño eficiente y económico del prototipo, es importante tener en cuenta los factores clave que se describen en las secciones 6.4.7.1, 6.4.7.2, 6.4.7.3 y 6.4.7.4

6.4.7.1. PESO.

Los materiales de construcción son un factor clave en la fabricación del prototipo, ya que el peso total del robot afecta directamente su capacidad de desplazamiento y calado, así como su eficiencia en términos de consumo de energía, por esta razón, es importante utilizar materiales ligeros en la construcción. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la ligereza de los materiales no debe sacrificar la resistencia y durabilidad del robot, por consiguiente, el casco y la estructura interna deben ser diseñados de manera adecuada para soportar los esfuerzos y presiones que puedan ocurrir durante la recolección de residuos en el agua, esto incluye vibraciones y cargas mecánicas, así como la exposición a elementos corrosivos presentes en el entorno.

6.4.7.2. PROCESOS DE FABRICACIÓN.

El proceso de prototipado es esencial en el diseño de productos, ya que permite validar la funcionalidad y la apariencia de un concepto antes de producirlo en grandes cantidades. Los objetivos que se buscan cumplir en una fase de prototipado se resumen en reducir el tiempo al igual que el costo de diseño, aumentar la versatilidad en la generación de formas y/o materiales y finalmente garantizar la fiabilidad en las dimensiones y en las características de diseño.

Para alcanzar estos objetivos, es importante elegir materiales y procesos de fabricación que sean adecuados. Actualmente, la tecnología de impresión 3D es la opción preferida para fabricar prototipos como lo declara Navarrete (2018) ya que permite una rápida producción de modelos, con una gran variedad de materiales y una alta precisión en las dimensiones al igual que en detalles de diseño. Además, esta tecnología es más accesible y económica que otras opciones, lo que representa una opción atractiva en los desarrollos ingenieriles. Gracias a las ventajas que brinda la tecnología de impresión 3D, se decidió utilizarla para el desarrollo del prototipo del presente proyecto.

6.4.7.3. CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA 3D.

Antes de llevar a cabo la impresión 3D, es importante considerar tanto las características de los materiales que se van a utilizar como las de la impresora que se utilizará. Esto garantiza una impresión exitosa, con un resultado óptimo y acorde a las expectativas. Para ello, es necesario conocer previamente los tipos de materiales compatibles, el tamaño de impresión, la temperatura límite del extrusor, la temperatura de la cama caliente, la velocidad de impresión, la resolución de la impresión, el diámetro del filamento y la altura que se debe imprimir en cada capa.

En este proyecto, se ha optado por utilizar la impresora Anet A8, una impresora de buen desempeño y con una serie de especificaciones (ver tabla 3) que aseguran una impresión de calidad. la tabla 3 fue desarrollada en base a la información de la página oficial de Anet (Anet3d.com, s.f).

Tabla 3. Especificaciones Anet A8.

ANET A8	
Volumen de impresión:	220x220x240 mm
Plataforma de impresión:	aluminio
Cabezales:	1
Diámetro del cabezal:	0,4 mm
Espesor de la capa:	0,1 - 0,3 mm
Velocidad de impresión:	Hasta 100mm/s
Diámetro del filamento:	1,75 mm
Formato de archivo:	G-code, OBJ, STL
Precisión del eje X/Y:	0,012 mm
Precisión del eje Z:	0,004 mm
Software:	Cura, Repetier
Filamentos compatibles:	PLA, ABS, HIPS PETG, TPE, TPU, PP

Fuente:(Propia de autor, 2023)

6.5. MARCO CONCEPTUAL.

Para el desarrollo del proyecto de investigación es necesario considerar conceptos que se relacionan de manera intrínseca con el diseño de prototipos, ingeniería náutica y sistemas de comunicación, a continuación, se presentan una serie de palabras claves que hacen alusión a dicha premisa.

CAE: ingeniería asistida por computador (Computer Aided Engineering), es el uso de herramientas informáticas para apoyar y mejorar los procesos de diseño, simulación, análisis y fabricación en la ingeniería. Esto incluye la modelación y visualización de productos y sistemas, la simulación de su funcionamiento y la optimización de su rendimiento.

CAD: diseño asistido por computador (Computer Aided Design), es el proceso de crear y modificar modelos en 3D o representaciones gráficas de un producto o sistema utilizando software especializado. Permite a los diseñadores visualizar, simular y probar ideas antes de la fabricación, lo que ayuda a optimizar el rendimiento, la funcionalidad y la estética del diseño final.

FEA: análisis de elementos finitos (Finite Element Analysis), es un método numérico utilizado en ingeniería para predecir la respuesta de un sistema o producto ante cargas y restricciones específicas. En FEA, el objeto se divide en pequeñas secciones, llamadas elementos, que se modelan matemáticamente para representar su comportamiento estructural. La solución matemática resultante proporciona información sobre la deformación, las tensiones, las deflexiones y otras propiedades del objeto bajo las condiciones especificadas

TRASMISION ALAMBRICA: es el proceso de transferir información a través de un medio físico formado por un cable conductor. Estos cables pueden ser de cobre o fibra óptica y transmiten señales eléctricas o ópticas que representan la información deseada. La transmisión alámbrica se utiliza ampliamente en la comunicación de

datos, la transmisión de voz y video, y otras aplicaciones que requieren una transmisión confiable y controlable de información.

TRASMISION INALAMBRICA: es el proceso de transferir información sin la necesidad de un medio físico, como cables o hilos. En su lugar, se utilizan ondas electromagnéticas, como radiofrecuencias (RF), infrarrojos (IR) o luces visibles, para transmitir información. La transmisión inalámbrica se utiliza ampliamente en la comunicación móvil, la conexión a Internet, la transmisión de audio y video, y otras aplicaciones que requieren libertad de movimiento y flexibilidad.

SKIMMER DE AGUA: es un dispositivo de piscina o spa que se coloca en la superficie del agua para recoger la suciedad y las hojas. Funciona mediante una bomba que succiona el agua a través del skimmer y la lleva a un filtro para ser limpiada antes de ser devuelta al agua, son un componente importante del sistema de limpieza de una piscina o spa, ya que ayudan a mantener el agua limpia y clara y prevenir la acumulación de suciedad y desechos en el fondo.

ANGULO DE ESCORA: Es el ángulo formado entre la línea de flotación (el eje longitudinal del barco) y la vertical en un barco en reposo en aguas calmas. Se utiliza para describir la estabilidad longitudinal de un barco y se mide en grados.

SENSOR: Un sensor es un dispositivo que convierte una entrada física o química en una señal eléctrica o de otro tipo que puede ser procesada por un sistema electrónico.

IMPRESIÓN 3D: Es un proceso de fabricación en el que se crea un objeto tridimensional a partir de un modelo digital. Se construye capa por capa, utilizando materiales como plástico, metal, cerámica o resina, hasta formar un objeto completo.

6.6. MARCO LEGAL.

Respecto al marco legal del proyecto no se especifica una ley estandarizada que éste dedicada a la eliminación de los microplásticos de los medios acuáticos, sin embargo, existen recomendaciones, al igual que leyes de diferentes instituciones nacionales que están dedicadas a erradicar o mitigar la producción de plásticos de un solo uso, asimismo interponen regulaciones acerca del tratamiento de los residuos plásticos para ser reciclados debidamente.

En Colombia, existen varias leyes y regulaciones que podrían llegar a regir la implementación de dispositivos de limpieza de agua. Algunas de las leyes más relevantes incluyen:

- Ley 99 de 1993: Esta ley establece las normas y regulaciones para la gestión de los recursos hídricos en Colombia.
- Decreto 1753 de 2007: Este decreto establece los lineamientos para la gestión integral de los recursos hídricos en el país, incluyendo la implementación de sistemas de tratamiento de agua.
- Resolución 933 de 2018: Esta resolución establece las normas y procedimientos para la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales en Colombia.
- Ley 1753 de 2015: Esta ley establece los requisitos y regulaciones para la gestión y protección de los cuerpos de agua en Colombia, incluyendo la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Estas leyes y regulaciones son importantes para garantizar la calidad y la seguridad del agua en Colombia, y establecen los requisitos para la implementación de dispositivos de limpieza de agua eficientes y sostenibles.

Existe una legislación para el cuidado de los recursos hídricos la cual se rige bajo la Declaración de Río de Janeiro, de la cual se establece el decreto 3930 que tiene como objetivo la correcta manipulación de este tipo de recursos, por consiguiente, la preservación de estos es una prioridad, donde el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible vela por su debido cumplimiento, por otro lado se encuentra la Ley 99 de 1993 (Ley 99 de 1993 - Gestor Normativo, s.f.) mencionada anteriormente, que promulga la política Nacional para el desarrollo sostenible de los espacios hídricos con el objetivo de prevenir, reducir y controlar la contaminación terrestre y acuática.

El Decreto 2183 de 2017 (Decreto 2183 de 2017 - Gestor Normativo, s.f.) es una normativa en Colombia que regula el desarrollo y la promoción de tecnologías ambientales en el país. Este decreto tiene como objetivo promover la innovación y el uso de tecnologías sostenibles en diferentes sectores de la economía, incluyendo la agricultura, la industria, la construcción, y la energía. Establece medidas e incentivos para fomentar el uso de tecnologías ambientales y definir los proyectos y programas que serán financiados por el gobierno. Además, establece un marco de colaboración entre el sector público y privado para promover el desarrollo de tecnologías sostenibles.

En conclusión, las leyes y decretos que se mencionaron anteriormente tienen como objetivo mitigar la contaminación en las fuentes hídricas y crear espacios sostenibles para la sociedad. Por lo tanto, el desarrollo del prototipo de limpieza acuática podría ser visto como una solución innovadora como lo describe el decreto 2183 de 2017, ya que se trata de una tecnología ambiental que puede contribuir a la correcta gestión de los recursos hídricos, tal y como lo establece la Ley 99 de 1993.

6.7. MARCO GEOGRAFICO.

El robot acuático del proyecto se probará en una pequeña laguna con el fin de evaluar el funcionamiento de este en un entorno natural real, dicha laguna (ver figura 34) está ubicada en la finca Santa Teresita, perteneciente al municipio de Guatavita – Cundinamarca.

Figura 34. Laguna ubicada en la finca Santa Teresita.



Fuente:(Google Maps, 2022)

6.7.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

El Municipio de Guatavita se ubica hacia el nororiente de Santafé de Bogotá, por la Autopista Norte, cuenta con una altura de 2680 mts sobre el nivel del mar, a 4 grados 56 minutos de latitud norte y 73 grados 51 minutos de longitud occidental del meridiano de Greenwich (ORARBO, s.f.). El sector rural está conformado por 15 veredas (ver figura 33), las cuales son Amoladero, Carbonera Alta, Carbonera Baja, Chaleche, Choche, Corales, Guandita, Hatillo, Montecillo, Monquentiva, Potreritos, Potrero Largo, Santa María, Tominé de Blancos, Tominé de indios (Municipio de Guatavita, s.f.).

Figura 35. Mapa base del municipio de Guatavita.



Fuente:(Municipio de Guatavita, s.f.)

La finca Santa Teresita se encuentra ubicada en la vereda del Choche, esta es propiedad del señor Juan Echeverria Silva, quien brindo el permiso para realizar las pruebas del prototipo mecatrónico en sus instalaciones, la finca cuenta con un área de 70.000 mts², y la laguna (ver figura 36) que se encuentra allí tiene un área aproximada de 693 mts², dicha laguna no se emplea para actividades agropecuarias, únicamente hace parte del medio ambiente de la finca.

Figura 36. Laguna de la finca Santa Teresita.

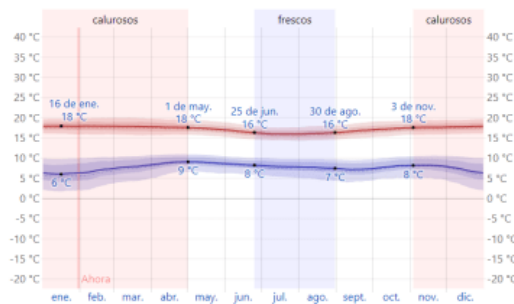


Fuente:(Propia de autor, 2023)

6.7.2. RECURSOS HIDRICOS Y FACTORES DEL CLIMA EN GUATAVITA.

En Guatavita, los veranos son largos y frescos, los inviernos son cortos y fríos y está mojado y nublado todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 18 °C y rara vez baja a menos de 2 °C o sube a más de 20 (El clima y el tiempo promedio en todo el año en Guatavita, s.f.), en la figura 37 se observa la temperatura de Guatavita en los últimos meses, dando como resultado una temperatura promedio de 17°C.

Figura 37. Temperatura máxima y mínima promedio en Guatavita.



Fuente:(El clima y el tiempo promedio en todo el año en Guatavita, s.f.)

Respecto al tema de los recursos hídricos, según el plan de desarrollo de Guatavita del 2020 - 2023 (Alcaldía de Guatavita ,2020), expone que

El municipio no cuenta con estudios técnicos sobre balance hídrico que le permitan un manejo adecuado de las fuentes hídricas. Además, de medir el impacto ambiental del uso del suelo, por lo tanto, no se han definido patrones para hacer un uso adecuado y sostenible de las cuencas, definiendo zonas de protección, corredores ecológicos, manejo de las zonas amortiguadoras, como tampoco una recuperación de las zonas afectadas.

Por lo tanto, al no poseer estudios técnicos sobre el balance hídrico que permitan obtener una identificación completa de las fuentes hídricas presentes en la vereda del Choche, se decidió realizar una caracterización sencilla de la laguna ubicada en la finca Santa Teresita, donde se plasmaran características como su profundidad, área aproximada de superficie al igual que fauna y flora de común distinción.

7. DISEÑO METODOLÓGICO.

En el diseño metodológico se expone el tipo y la metodología de investigación que se emplea para el desarrollo del proyecto, al igual que la población y etapas de desarrollo.

7.1. ENFOQUE & TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Para realizar el prototipo del robot se definió un enfoque de investigación mixto ya que combina métodos cuantitativos y cualitativos, lo que según Chávez (2018) permite estudiar más a fondo una situación específica debido a que los instrumentos de ambos métodos al trabajar juntos, arrojan información que permite comprender y analizar la realidad perteneciente al objeto de estudio para su posterior transformación. Aludiendo a la premisa contemplada por Chávez, en el presente proyecto se realizó la unión de ambas metodologías ya que para el desarrollo del prototipo se requiere tanto un análisis cuantitativo de las características técnicas del prototipo como una evaluación cualitativa de su usabilidad y la utilidad al ser evaluado como una solución tecnológica.

Se empleo dos de tipos de investigación para el desarrollo del proyecto, siendo uno el tipo de investigación aplicada o tecnológica, ya que según Nieto (2018) se enfoca en solucionar los retos en la fabricación, distribución, circulación y uso de bienes y servicios en cualquier actividad humana, lo que repercute directamente sobre el objetivo general del proyecto, ya que se busca solucionar los retos que conlleva la fabricación de un prototipo de recolección de residuos funcional, por otro lado, se usó el tipo de investigación básica ya que esta sirve de cimiento para la investigación aplicada debido a que ofrece una teoría que eventualmente respaldara el diseño del prototipo (Nieto ,2018).

El tipo de diseño empleado es de naturaleza experimental ya que se busca probar y evaluar el rendimiento del prototipo al igual que optimizar sus características. Además, de que se llevaran cabo estudios de simulación y modelado para predecir el comportamiento y mejorar el diseño antes de la fase de fabricación del robot.

7.2. HIPÓTESIS, VARIABLES E INDICADORES.

7.2.1. HIPOTESIS GENERAL & ESPECIFICA.

7.2.1.1. HIPOTESIS GENERAL.

Un robot radiocontrolado diseñado y fabricado específicamente para la limpieza de microplásticos en lagos y lagunas puede ser una solución efectiva y eficiente para mitigar la contaminación por microplásticos en cuerpos de agua.

7.2.1.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS.

A continuación, se presentan las hipótesis específicas, las cuales se evaluaron mediante pruebas del robot radiocontrolado en condiciones controladas y reales con el fin de determinar su efectividad en la limpieza de microplásticos en lagos y lagunas.

HE₁: El diseño y los materiales seleccionados para el robot radiocontrolado influyen en su capacidad para detectar y remover microplásticos en lagos y lagunas.

HE₂: La eficiencia del robot radiocontrolado para remover microplásticos de los cuerpos de agua se relaciona con la cantidad de microplásticos presentes en el cuerpo de agua y la eficacia del robot para detectar y seleccionar los microplásticos presentes.

HE₃: La eficacia del robot radiocontrolado para detectar y remover microplásticos en lagos y lagunas varía según el tipo de cuerpo de agua donde se utiliza.

7.2.2. VARIABLES E INDICADORES.

Los indicadores empleados en el proyecto se utilizaron para evaluar el rendimiento del robot, se utilizó la recolección y análisis de datos de estos indicadores para determinar qué variables dependientes e independientes son efectivas en la construcción de un prototipo de limpieza acuática. A continuación, se presenta la figura 38 la cual expone la relación de las variables dependientes e independiente del proyecto y sus respectivos indicadores.

Figura 38. Variables e indicadores del proyecto.

		Indicadores
Variables independientes	Diseño y materiales del robot	Peso del robot
		Dimensiones y forma del robot
		Velocidad del robot
		Capacidad de carga del robot
	Tipo de control de navegación utilizado	Precisión del control
		Capacidad de maniobra del robot
	Tipo de cuerpo de agua en el que se utilizará el robot	Profundidad del agua
Velocidad de la corriente		
Variables dependientes	Efectividad del robot para detectar y limpiar microplásticos	capacidad del robot para remover los microplásticos del cuerpo de agua.
	Cantidad de microplásticos removidos del cuerpo de agua	cantidad de microplásticos recolectados por el robot en un período de tiempo determinado.
	Eficiencia del robot en la limpieza de microplásticos	cantidad de microplásticos removidos por el robot en comparación con la cantidad total de microplásticos en el cuerpo de agua.
		Velocidad del robot durante su operación.
	Costo de fabricación y mantenimiento del robot	Costos de los materiales y componentes utilizados en la fabricación del robot & posterior mantenimiento.

Fuente:(Propia de autor, 2023)

7.3. TECNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Para el presente proyecto se implementó dos técnicas de recolección de datos, siendo estas:

- **Análisis documental.** La cual según Hernández & Tobón (2016) tiene el propósito de representar la información de un documento de manera clara, estructurada y analítica, donde se analiza, interpreta y sintetiza la información para crear un nuevo documento más accesible y de fácil de compartir, con el objetivo de alcanzar ciertas metas específicas. Por lo tanto, basándose en que el presente proyecto está enfocado en el desarrollo de un prototipo de limpieza acuática se revisó y evaluó la información relevante disponible en documentos al igual que fuentes secundarias para conocer el estado actual del problema, donde se pudo identificar oportunidades y desafíos, con el fin de desarrollar una estrategia de investigación efectiva.
- **La Observación:** esta técnica permite conectarse con la realidad y formar una idea precisa sobre la problemática que se estudia (Useche et al, 2019), en el caso del proyecto se empleó la técnica de observación instrumentada, ya que se utilizaron equipos mecánicos y electrónicos para captar diversos datos de las pruebas de funcionamiento.

El instrumento empleado para la recolección de los datos fueron las fichas de registro, están son un instrumento alineado a la técnica de observación. Según Arias (2020) estas permiten recolectar datos e información de las fuentes que se están consultando, y se pueden diseñar según la necesidad del proyecto, en el caso del proyecto este instrumento permitió resaltar y obtener datos del desempeño del funcionamiento del robot acuático a través de los diversos indicadores establecidos previamente. En el anexo 2 del documento se encuentra el diseño general de la ficha de registro diseñada para el proyecto.

7.4. MUESTREO.

7.4.1. UNIVERSO.

Carrasco Diaz (2019) define al universo como el grupo total de elementos relacionados con un estudio, como personas, cosas, acontecimientos, entre otros, donde la población y la muestra son parte de este universo y se usan para estudiar las variables y problemas de la realidad, por consiguiente, el universo donde actuara el proyecto estaría conformado por el medio ambiente acuático. Esto incluiría cualquier cuerpo de agua, como ríos, lagos, océanos, etc. que estén contaminados con microplásticos, el robot sería diseñado para ser utilizado en cualquier entorno acuático y, por lo tanto, su universo objetivo sería el medio ambiente en sí mismo, en lugar de un grupo específico de personas o animales.

7.4.2. POBLACIÓN.

La población objetivo para un proyecto de investigación que aborda la construcción de un robot que limpia microplásticos en zonas hídricas estáticas es el acervo de partículas de microplásticos en suspensión presentes en estanques, lagos y lagunas, entre otros, debido a que el prototipo se desarrolló para funcionar en entornos que presentan una baja actividad de oleaje.

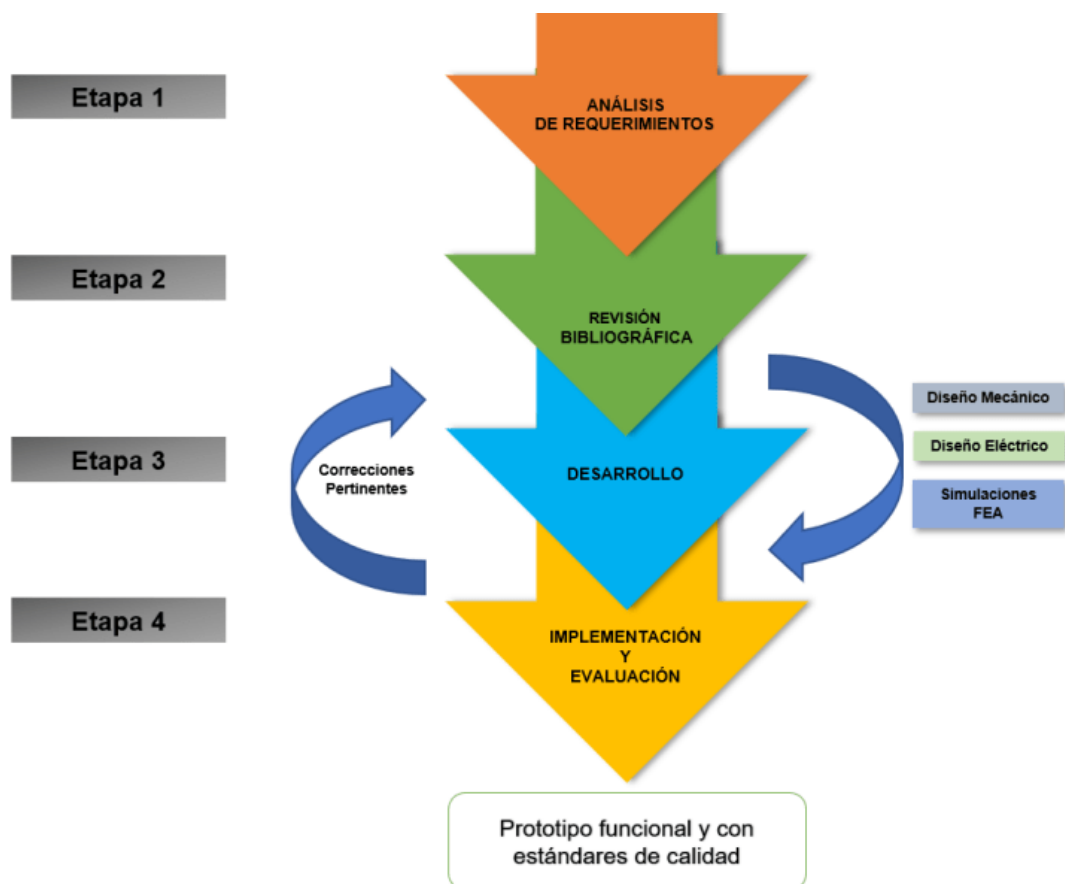
7.4.3. MUESTRA.

Para Sampieri et al. (2014) la muestra es un segmento selecto de la población, cuya información se recopila con precisión y que previamente se ha delimitado con claridad, por consiguiente, esta información es representativa de la población completa y se utiliza para llevar a cabo un estudio. Para el proyecto se utilizarán los microplásticos y otros tipos de desechos presentes en dos lugares específicos donde se llevarán a cabo las pruebas de funcionalidad, siendo uno el entorno artificial y el otro la laguna ubicada en la finca Santa Teresita, estos dos sitios serán empleados para validar el correcto funcionamiento del robot.

7.5. PROCEDIMIENTO Y FASES.

Para lograr el objetivo principal de la investigación, se seguirán una serie de fases de desarrollo basadas en la Norma VDI 2206. La Norma VDI 2206 es un enfoque flexible para el diseño de sistemas mecatrónicos que abarca diferentes aspectos importantes del proceso de diseño. Según Ansoategui Belategui (2017, páginas 41-45), estos aspectos incluyen la definición de requisitos, el diseño preliminar, el diseño específico de cada disciplina, la integración del sistema, la verificación de las propiedades, el modelado y el análisis del modelo. Por lo tanto, utilizar esta norma permitirá tener una visión clara y sistemática de cómo se desarrollará el proyecto. En la Figura 39 se muestra un diagrama que ilustra las cuatro etapas que se implementarán en este proceso de desarrollo.

Figura 39. Esquema de desarrollo del prototipo.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

7.5.1. ETAPA 1: ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

En esta etapa se realiza una identificación y revisión exhaustiva de los requerimientos técnicos y funcionales del robot, la evaluación de la viabilidad técnica y económica del proyecto, al igual que la creación de una sección en el documento donde se detallarán dichos requerimientos (marco técnico).

7.5.2. ETAPA 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

La revisión bibliográfica es una etapa clave en el proceso de investigación y es esencial para establecer un marco teórico sólido y coherente para el proyecto. En el caso del presente proyecto de investigación que está enfocado en la limpieza de residuos en lagunas, la revisión bibliográfica implica la revisión de la literatura existente sobre la gestión de residuos en lagunas, la identificación de los avances previos en el campo, la evaluación de los métodos actuales de limpieza y la identificación de las áreas en las que aún se requiere investigación.

Se consultan diversas fuentes, incluyendo libros, revistas especializadas, artículos en línea y tesis, para recopilar la información necesaria. La información recopilada se utiliza para establecer un marco teórico sólido y coherente con la finalidad de tomar las mejores decisiones en el proceso de investigación, igualmente, se puede llegar a identificar las fortalezas al igual que las debilidades de los métodos actuales de limpieza de residuos en lagunas y determinar las áreas en las que se requiere investigación adicional.

7.5.3. ETAPA 3: DESARROLLO.

Para garantizar un desarrollo óptimo del proyecto y lograr la implementación exitosa de un prototipo efectivo, se requiere el uso de herramientas digitales de ingeniería para optimizar esta etapa, en este caso se utilizarán software con el fin de diseñar, simular y validar dicho prototipo ya que esto ayudará a asegurar una solución acorde con las necesidades de calidad, durante esta etapa se identificaron cinco fases, las cuales son:

- Análisis de datos recolectados

En esta fase se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la bibliografía previamente consultada, con el fin de identificar las mejores prácticas y soluciones existentes en relación al objetivo del proyecto. Esta revisión permitirá obtener una comprensión más profunda del tema y brindará una base sólida para el desarrollo del diseño del prototipo.

- Diseño mecánico.

En esta fase se abordará el diseño y cálculo de los aspectos mecánicos del robot acuático, esto incluirá la elaboración de un sistema para el movimiento y funcionamiento del prototipo, al igual que la estructura y el módulo de recolección, además, se realizarán los cálculos necesarios para asegurar que la estructura diseñada sea capaz de flotar y cumpla con los requisitos funcionales y de seguridad.

Este proceso requiere una gran cantidad de atención a los detalles, así como un conocimiento profundo de los materiales y tecnologías involucradas. El objetivo es asegurarse de que el prototipo tenga un rendimiento óptimo y sea sencillo de usar, por lo tanto, se tomará en cuenta todos los aspectos relevantes y se usaran software CAD como Autodesk Fusión 360™ para dar forma a los diseños planteados.

- Diseño de sistema eléctrico.

En esta fase se abordará la planificación y diseño de los circuitos electrónicos necesarios para controlar los componentes activos del prototipo. Este proceso requerirá un conocimiento profundo de los componentes electrónicos, así como de las tecnologías de control y comunicación.

El objetivo principal de esta fase es asegurarse de que el prototipo pueda ser controlado de manera efectiva y eficiente, por lo tanto, se desarrollarán los circuitos electrónicos necesarios para controlar los actuadores, así como para procesar y transmitir los datos relevantes. Además, se definirá el protocolo de comunicación

que se utilizará para controlar el prototipo, asegurándose de que sea fácil de usar y compatible con las tecnologías relevantes.

- Simulaciones FEA.

Una vez completado el diseño mecánico del prototipo, se llevarán a cabo simulaciones de elementos finitos para evaluar su comportamiento en un entorno real. Estas simulaciones son esenciales para asegurarse de que el prototipo cumpla con los estándares de calidad requeridos y tenga un buen rendimiento en su aplicación final. Además, permiten identificar posibles problemas con el fin de realizar ajustes antes de la fabricación, lo que ahorrara tiempo y futuros costos.

- Fabricación.

En esta fase del proceso se llevará a cabo la fabricación física del prototipo. Primero, se imprimirán las piezas 3D que conformarán la estructura del prototipo. Luego, se diseñarán y conectarán los circuitos de los actuadores a la estructura, garantizando su correcto funcionamiento y finalmente se incorporará el módulo de recolección de residuos y todos los componentes necesarios para la comunicación.

Además, para asegurar la durabilidad y eficiencia del prototipo, se aplicarán las resinas y aislamientos adecuados para evitar fugas. Este proceso es crucial para garantizar que el prototipo funcione correctamente y cumpla con los estándares de calidad requeridos. Al final de esta etapa, el prototipo estará listo para ser probado y evaluado en su entorno real.

7.5.4. ETAPA 4: IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN.

La última etapa del proceso de desarrollo del prototipo es su implementación y evaluación en entornos reales. Inicialmente, se evaluará el prototipo en una fuente artificial de agua estática, en este caso un tanque, donde se colocarán pequeñas cantidades de plásticos y microplásticos para probar la capacidad del prototipo de almacenarlos y recogerlos. En caso de detectar fallos o problemas, se realizarán las

correcciones y mejoras necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del robot.

Una vez que el prototipo haya sido evaluado satisfactoriamente en el ambiente artificial, se continuará con su evaluación en un ambiente más realista, en este caso la laguna ubicada en la finca Santa Teresita. Aquí se evaluará su capacidad de recoger y almacenar diferentes tipos de plásticos y sedimentos, al final de esta etapa, se tendrá una comprensión clara de la efectividad del prototipo y se identificarán cualquier mejora adicional que sea necesaria.

8. INGENIERÍA DEL PROYECTO.

En esta sección se presentan los avances en ingeniería necesarios para el desarrollo del proyecto; para ello se han utilizado diseños mecánicos, electrónicos y de control que se basan en los diseños de vehículos y robots acuáticos presentados en el estado del arte. Estos diseños previos han sido estudiados y analizados para adaptarse al proyecto y cumplir con los objetivos específicos del mismo. Además, se dan a conocer las simulaciones realizadas tanto en el ámbito electrónico como en el mecánico para la construcción del prototipo.

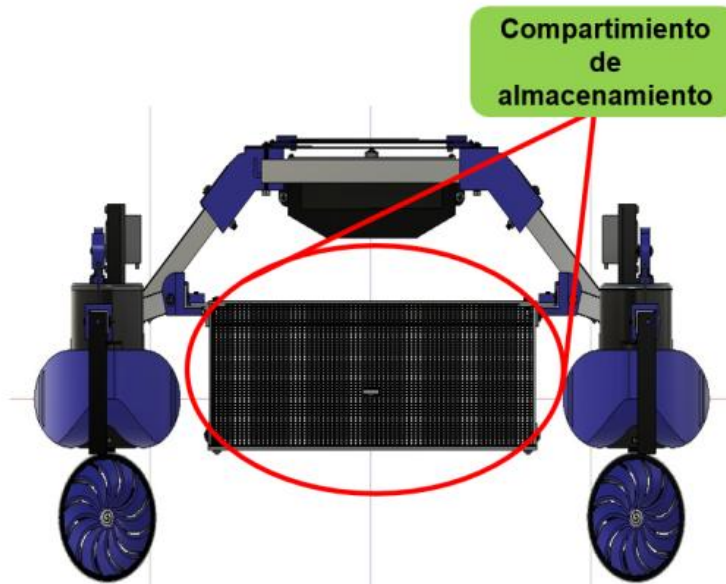
El diseño de este prototipo se enfoca en mantener la cohesión entre las diferentes áreas de la ingeniería y los ambientes acuáticos de bajo oleaje. Se consideran factores como la resistencia al agua, la estabilidad y el rendimiento energético; por otro lado, se integran soluciones mecánicas al igual que electrónicas para asegurar el éxito del proyecto.

8.1. DISEÑO MECÁNICO.

El diseño mecánico se realizó a través del software de Autodesk Fusión 360™, este diseño tiene como objetivo desarrollar un sistema capaz de desplazarse eficientemente a nivel de la superficie hídrica con el fin de recolectar los residuos plásticos. Para lograr esto, se requiere la implementación de un conjunto de componentes mecánicos que permitan el movimiento del sistema, al igual que la captación de los mencionados residuos.

En la parte inferior del sistema, se instalará un compartimento para almacenar los residuos recolectados como se detalla en la figura 40. Este compartimento debe ser lo suficientemente grande como para almacenar plásticos de varios tamaños, pero también debe ser liviano para no afectar negativamente el movimiento del sistema.

Figura 40. Compartimiento de almacenamiento.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Es importante tener en cuenta que el sistema debe ser lo suficientemente robusto y estable para resistir las condiciones adversas que pueden encontrarse en las lagunas, tales como pequeños oleajes, agentes presentes en el entorno y condiciones meteorológicas.

El principal criterio de diseño que se tuvo en cuenta fue la creación de una estructura con una densidad total inferior a la del agua (997 kg/m^3). Para lograr este objetivo, se implementó la estrategia de incorporar aire en el interior del sistema con el fin de disminuir la densidad promedio del prototipo. Para ello, se utilizaron cuatro tubos de 70 cm de longitud y 7,62 cm de ancho, los cuales permitieron almacenar un volumen de aire de 8022.9 cm^3 por tubo. Esta incorporación de aire permitió reducir la densidad total del sistema, lo que permitió que el prototipo pudiera flotar en el agua.

Además, se consideró la estabilidad del centro de gravedad del prototipo y su resistencia a las fuerzas externas. Por lo tanto, se optó por separar los cascos por una distancia de 50 cm, lo que permitió lograr un centro de gravedad más estable y

elevado por encima del nivel del agua. Por consiguiente, se logró un centro transversal de baja deformación al exponerse a fuerzas externas, lo que mejoró la resistencia del prototipo a las fuerzas de marea y oleaje.

8.1.1. ESTRUCTURA GENERAL DEL ROBOT.

Una de las premisas que surgen en el diseño de la estructura general del robot es decidir qué tipo de casco se va a utilizar, para ello se generó una tabla comparativa en el anexo 3 donde se muestran las ventajas y desventajas de los 3 modelos de embarcación más conocidos. A partir de las comparativas observadas en el mencionado anexo y las consultas realizadas en el estado del arte se optó por diseñar la estructura general del robot en base al modelo catamarán, ya que este modelo ofrece una serie de características que lo hacen adecuado para su uso en el medio acuático de bajo oleaje donde se planea implementar el robot, entre las características encontramos:

Estabilidad mejorada: El diseño de doble casco del catamarán proporciona una mayor estabilidad en el agua, lo que resulta importante para un robot que necesita operar en condiciones climáticas donde se puede alterar el oleaje de la superficie.

Maniobrabilidad: Al utilizar un diseño de doble casco, el robot puede realizar giros más cerrados y maniobras precisas, lo que es ideal para un robot que necesita recolectar residuos en áreas estrechas o de difícil acceso.

Seguridad: Al tener estabilidad y maniobrabilidad en la superficie hídrica, el modelo catamarán permite una navegación más segura y una mejor capacidad para sortear obstáculos en el agua. Esto minimiza el riesgo de daños a la estructura del robot, al igual que evita posibles pérdidas de equilibrio estático.

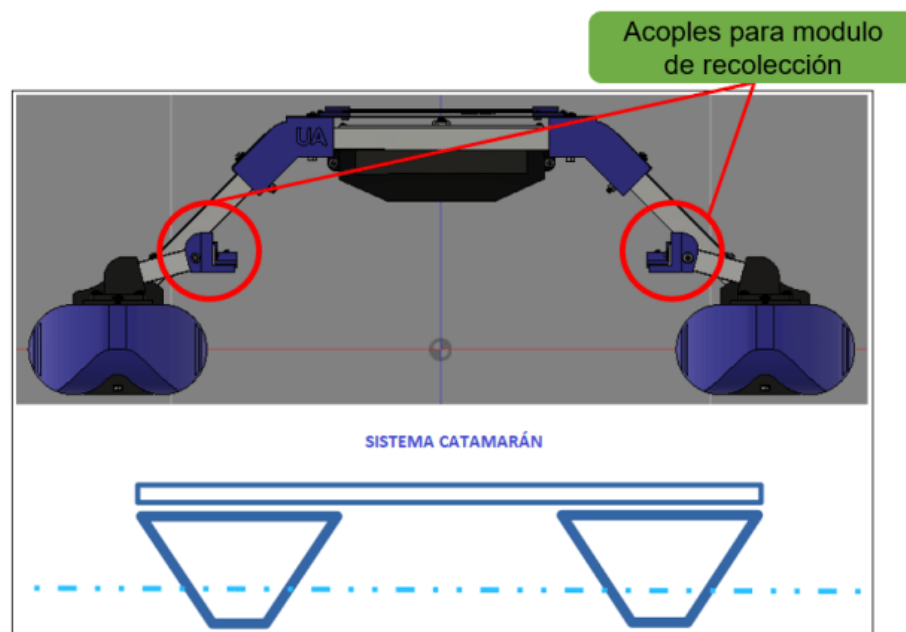
Propulsión eficiente: El modelo catamarán utiliza un sistema de propulsión de dos motores, los cuales están ubicados en cada casco que lo que repercute

directamente en una navegación eficiente y estable en el agua. Esta propulsión también ayuda a reducir la resistencia del agua, lo que se traduce en un menor consumo de energía, siendo esta premisa una de los indicadores de las variables independientes del proyecto.

8.1.1.1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CATAMARAN.

Inicialmente se diseñó la estructura general en base al sistema de las embarcaciones catamarán las cuales cuentan con una unión y dos cascos que permiten su flotabilidad, además se dispuso de 2 acoples en cada casco donde se acoplará el módulo de recolección de residuos como se observa en la figura 41.

Figura 41. Estructura general del robot.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

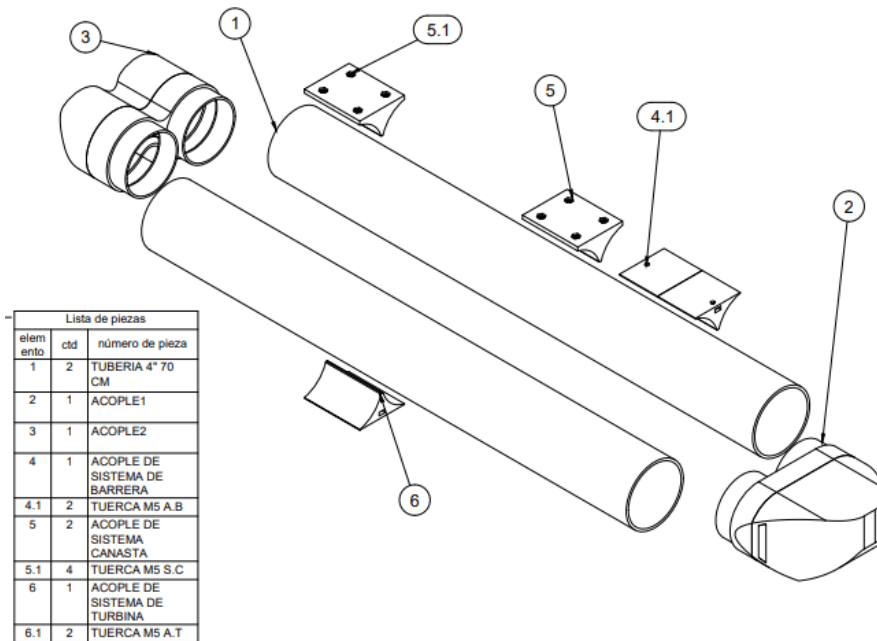
Para cada casco del sistema de flotación catamarán se diseñó una pieza doble tubular (ver figura 42) para dar una mayor estabilidad, cada casco está constituido por 6 elementos generales, los cuales se muestran en la figura 43.

Figura 42. Cascos del robot acuático.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 43. Componentes de los cascos del robot.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Se usa dos piezas tubulares de 70 cm (componentes 2 y componente 3) las cuales están unidas cada una por dos piezas de acople tanto en la parte posterior como en la parte frontal para lograr hermeticidad en cada casco, ya que estas actuarían como

una tapa.

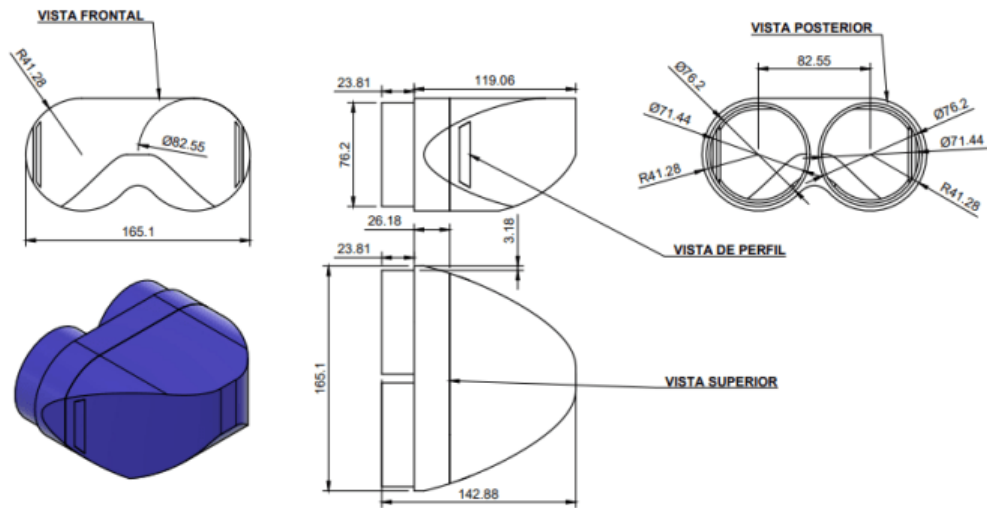
Figura 44. Piezas de acople tubular.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

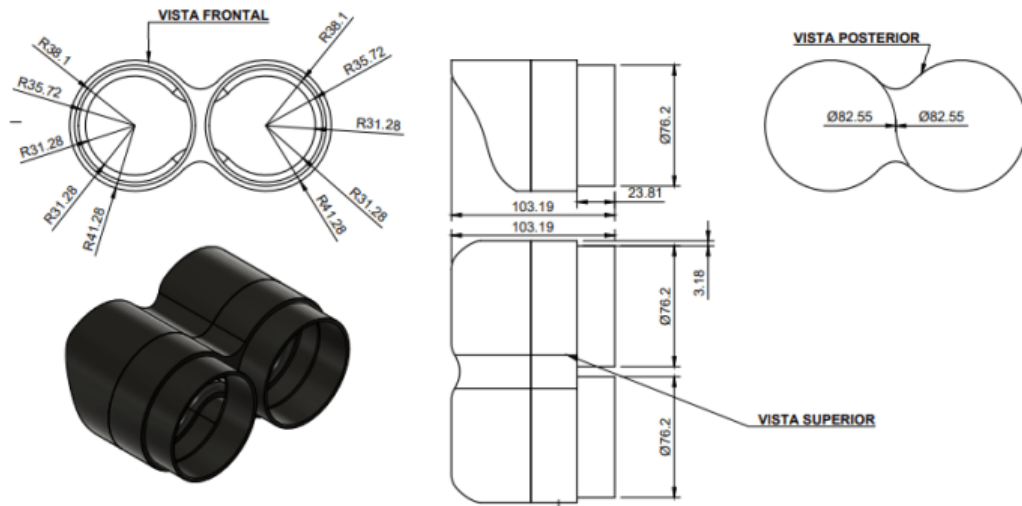
Las piezas de acople fueron diseñadas a la medida de un tubo de 3” pulgadas, cada acople se imprimirá en 3D y se adaptará a cada casco, en la figura 45 se detalla el acople frontal y en la figura 46 se detalla el acople posterior.

Figura 45. Medidas acople frontal.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

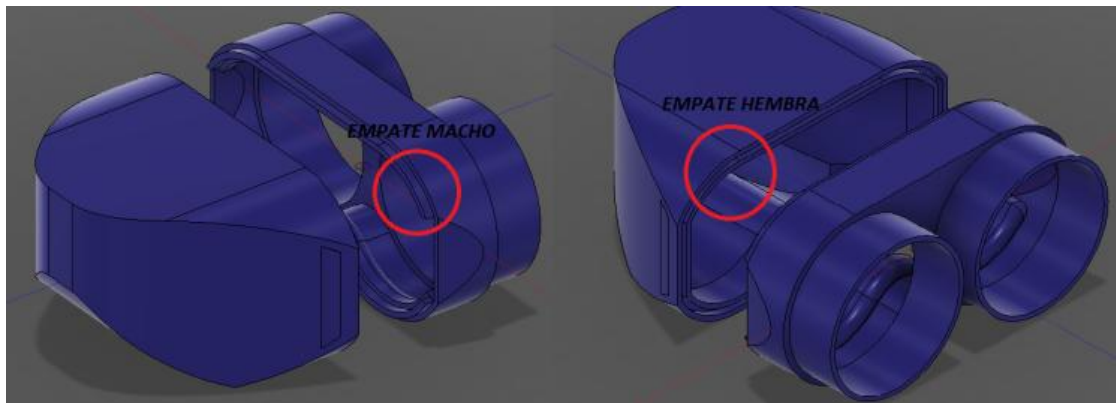
Figura 46. Medidas acople posterior.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Las piezas de acople están divididas en 2 piezas y se adaptaron empates para facilitar su unión, esta decisión se tomó con el fin de disminuir el tiempo de impresión, ya que normalmente cada pieza impresa en 3d tardaría un tiempo de fabricación aproximado de 38 a 40 horas continuas, por lo tanto, se dividieron en las dos piezas como se observa en la figura 47 y figura 48 para evitar posibles errores en la calidad de impresión o en el peor de los casos forzar un reinicio del proceso debido a alguna falla en el tiempo, lo que repercute en gastos de material y energía.

Figura 47. Empates de acople frontal.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

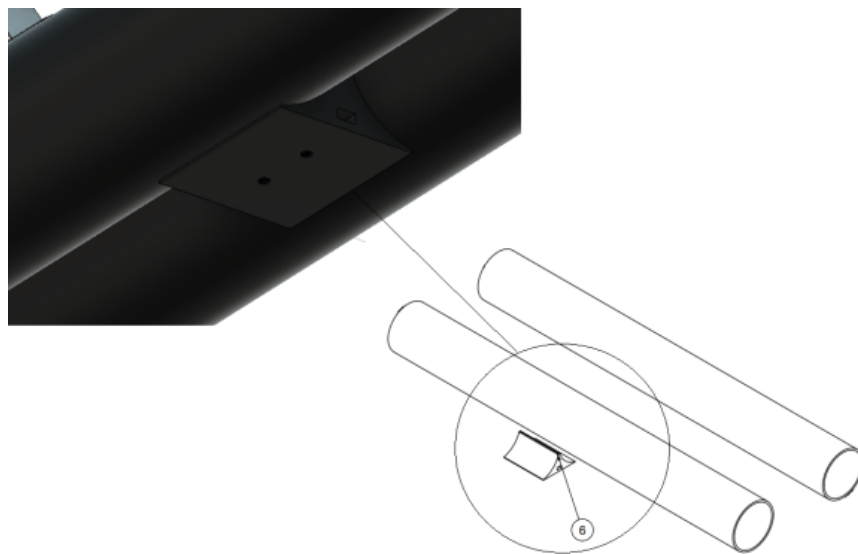
Figura 48. Empates de acople posterior.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

En la figura 49 se presenta el diseño del componente 6, la cual es una pieza que se adicionarán a cada casco para la adaptación de la turbina.

Figura 49. Pieza de adaptación de turbina ubicada en el casco.

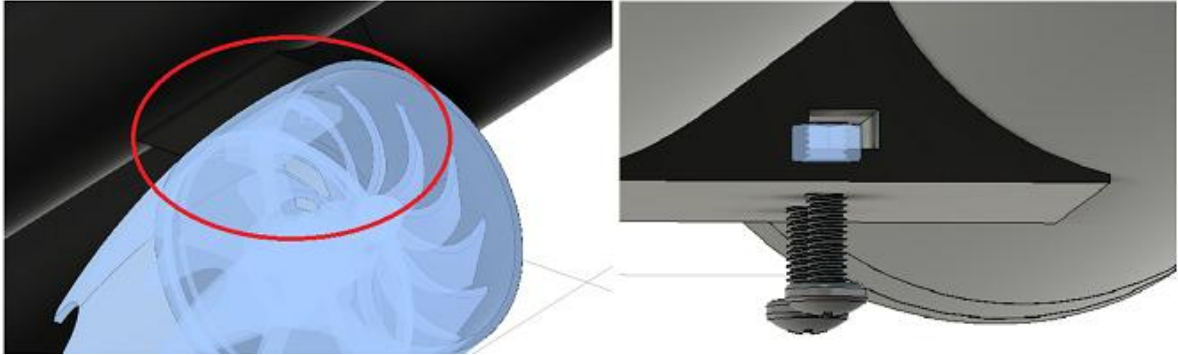


Fuente:(Propia de autor, 2023)

La figura 50 presenta la unión entre el casco y la turbina usando el componente 6,

esta unión se realizó mediante tornillos sujeción.

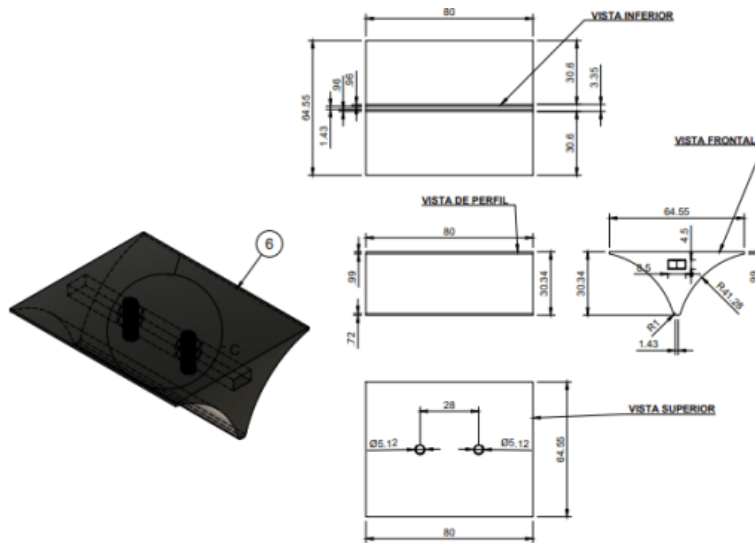
Figura 50. Unión entre casco & turbina.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

La pieza mencionada anteriormente tiene las siguientes dimensiones (figura 53):

Figura 51. Medidas acople de turbina.

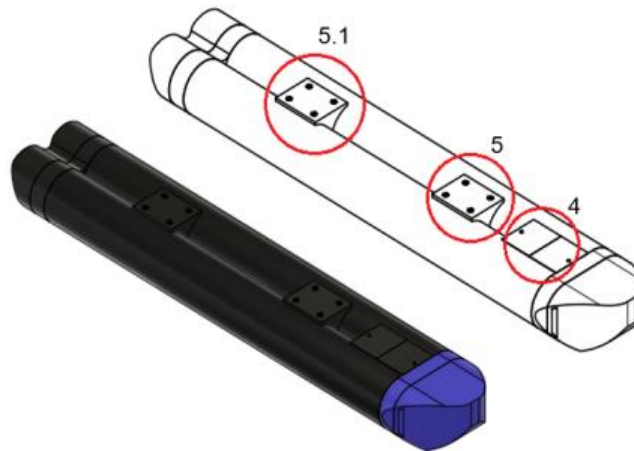


Fuente:(Propia de autor, 2023)

Las siguientes piezas son los componentes 4.1, 5 y 5.1 (ver figura 52), los cuales actuaran como una unión entre los cascos y los sistemas de barrido y de canasta recolectora. Estas piezas están fijadas mediante pegamento a la estructura tubular

de cada casco.

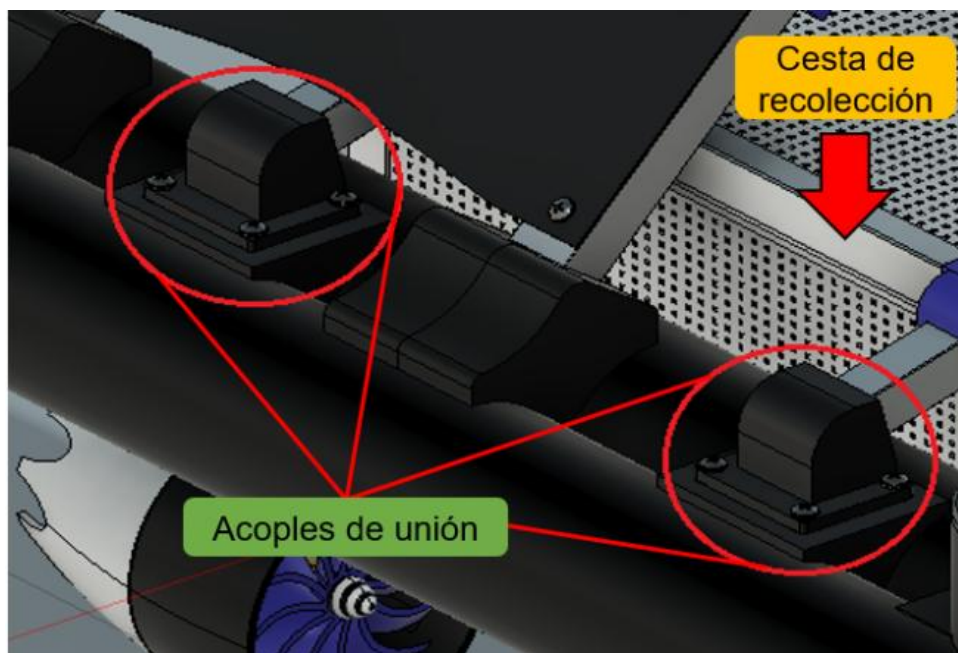
Figura 52. Acople de sistema de barrido y de canasta recolectora



Fuente:(Propia de autor, 2023)

En la figura 53 se observa cómo se acoplan los adaptadores al sistema de la canasta de recolección mediante los componentes 5 y 5.1 y tornillos de sujeción.

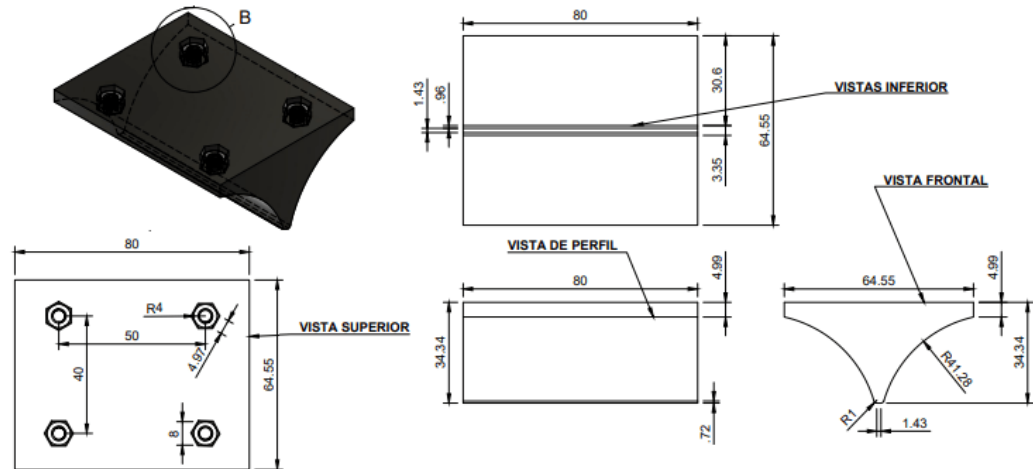
Figura 53. Unión entre cascos & cesta de recolección



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Los componentes 5 y 5.1 poseen las siguientes medidas (ver figura 54):

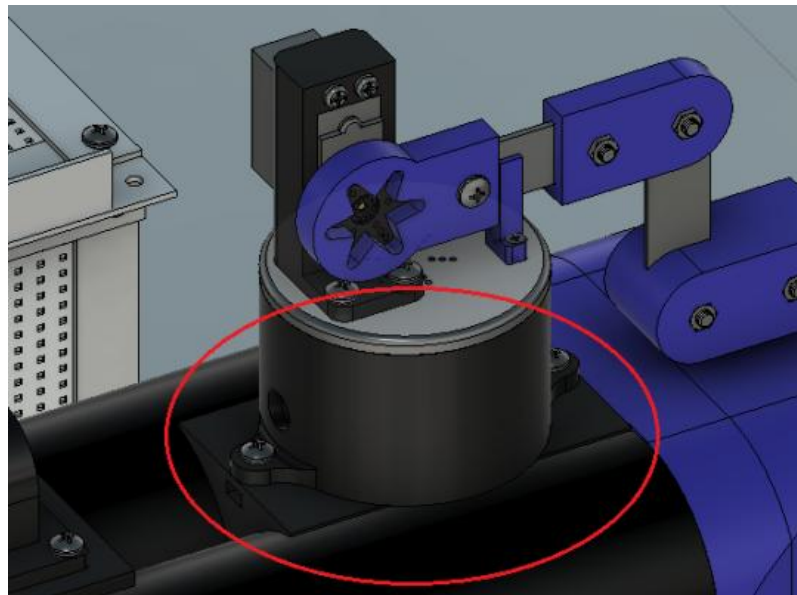
Figura 54. Medidas acople de cesta de recolección.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

En la figura 55 se observa el componente 4, el cual mediante tornillos de sujeción M5 ensambla el sistema de barrido y la estructura del casco.

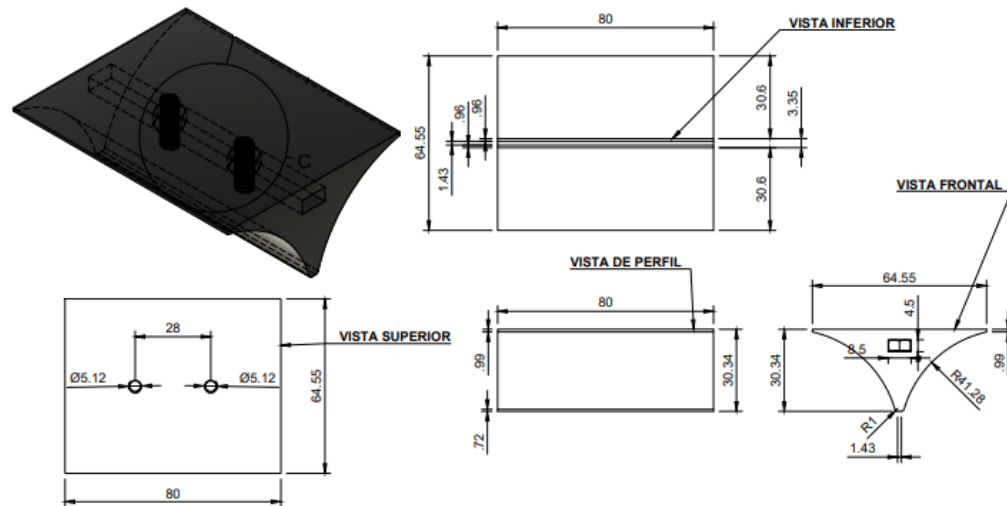
Figura 55. Unión entre cascos & sistema de barrido.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

El componente 4 posee las siguientes dimensiones (ver figura 56)

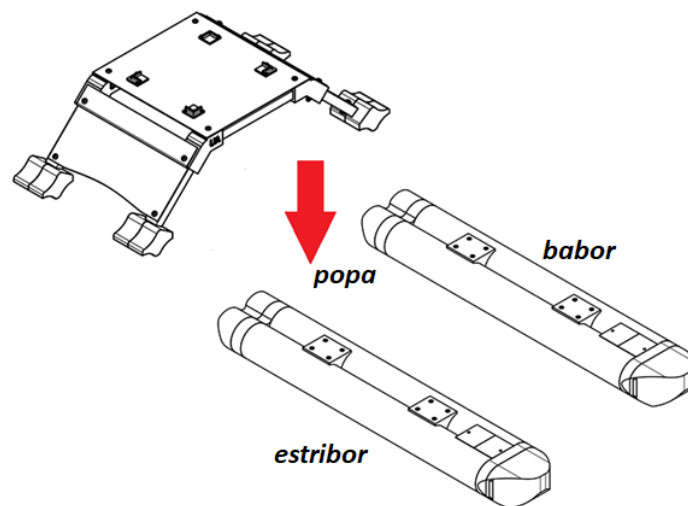
Figura 56. Medidas acople de sistema de barrido.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Finalmente, al tener los dos cascos completamente ensamblados a los módulos de recolección y de sistema de barrido, se procede a adaptar una estructura principal, la cual tiene la función de unir ambos cascos como se observa en la figura 57.

Figura 57. Unión entre los cascos & la estructura principal.

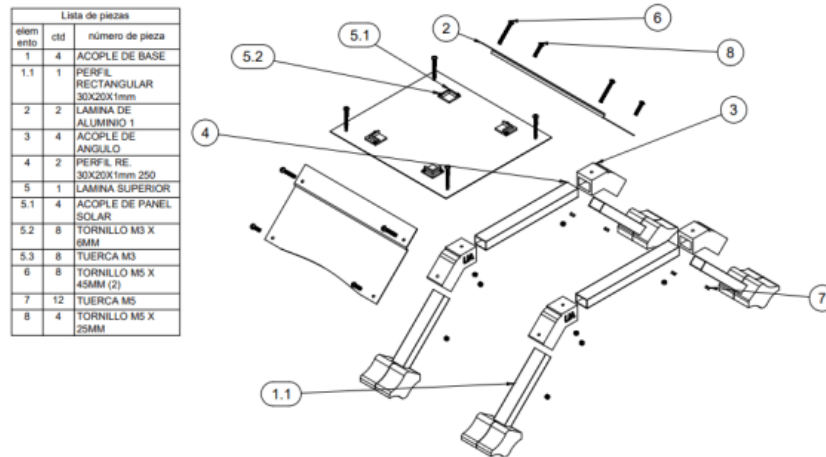


Fuente:(Propia de autor, 2023)

La estructura principal está constituida por 12 elementos como se observa en la

figura 58, la mayoría de estos elementos son uniones, tornillos y acoples.

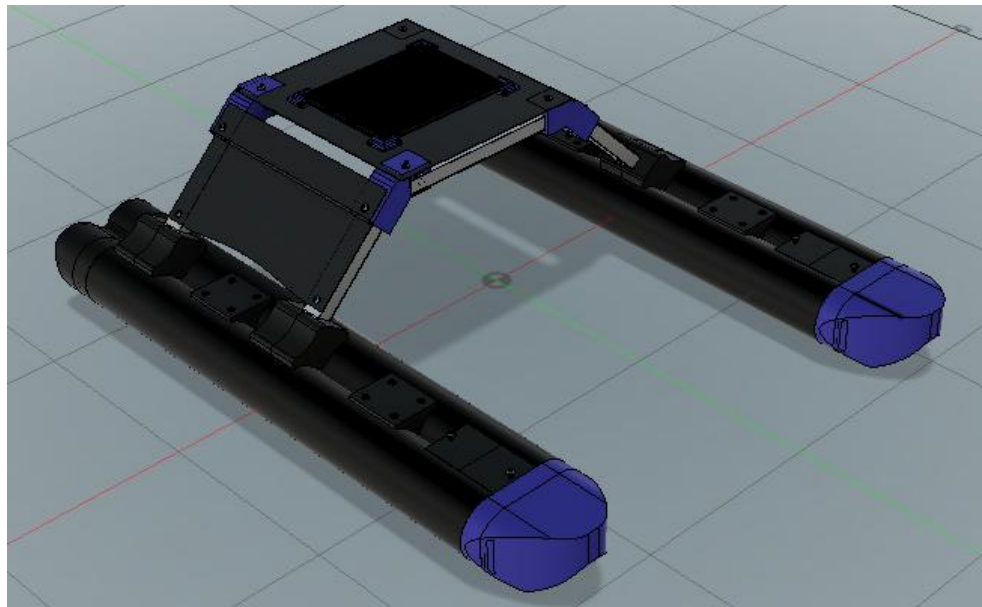
Figura 58. Medidas de estructura principal.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

En la figura 59 se observa la estructura ensamblada, dando como resultado el modelo catamarán propuesto.

Figura 59. Diseño catamarán del robot.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Se recomienda revisar el anexo 5 adjunto al final del documento para obtener una

comprensión completa y detallada sobre las piezas y demás elementos. Al revisar el anexo 5, se podrán encontrar detalles importantes sobre las características, funciones y usos de las distintas piezas mencionadas, así como también información técnica y detalles de ensamblaje.

Es importante destacar que el anexo 5 no es un complemento opcional, sino una parte integral del documento principal, por lo que se recomienda su revisión antes de proceder a cualquier acción o decisión basada en la información presentada.

8.1.2. SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL ROBOT.

Existen varios sistemas de propulsión para los robots acuáticos según lo expuesto en el marco teórico del proyecto, cada uno de estos sistemas cuenta con una serie de ventajas y desventajas. En el caso del robot diseñado se optó por implementar el sistema de turbinas ya que poseen diversas características que lo proponen como una opción conveniente para el desarrollo del proyecto, entre las características encontramos:

- **Eficiencia:** Las turbinas son altamente eficientes en la conversión de energía en movimiento. Pueden generar una gran cantidad de empuje en relación con su tamaño, lo que las hace ideales para robots subacuáticos que requieren una alta propulsión.
- **Resistencia:** Las turbinas son muy resistentes al desgaste, lo que las hace adecuadas para funcionar durante largos períodos de tiempo bajo el agua sin necesidad de mantenimiento frecuente.
- **Flexibilidad:** Las turbinas pueden ajustar su velocidad y dirección de forma

rápida y precisa, lo que permite a los robots subacuáticos cambiar rápidamente de dirección y ajustar su velocidad según sea necesario.

- Bajo nivel de ruido: Las turbinas son relativamente silenciosas en comparación con otros sistemas de propulsión, lo que las hace ideales para robots subacuáticos que necesitan moverse en un entorno donde el ruido puede ser perjudicial para los organismos acuáticos o interferir con la recolección de datos.

8.1.2.1. DISEÑO DE TURBINAS.

Para diseñar una turbina de hélice para un robot subacuático, se deben considerar factores como la velocidad, potencia del motor, tamaño y profundidad de operación. La hélice debe tener una forma adecuada para maximizar la eficiencia y minimizar la resistencia al agua, y se debe tener en cuenta la resistencia del motor y la caja de engranajes que conecta la hélice, también es importante considerar las fuerzas hidrostáticas y la profundidad de operación para garantizar que la turbina y sus componentes puedan soportar la presión y las tensiones adecuadas.

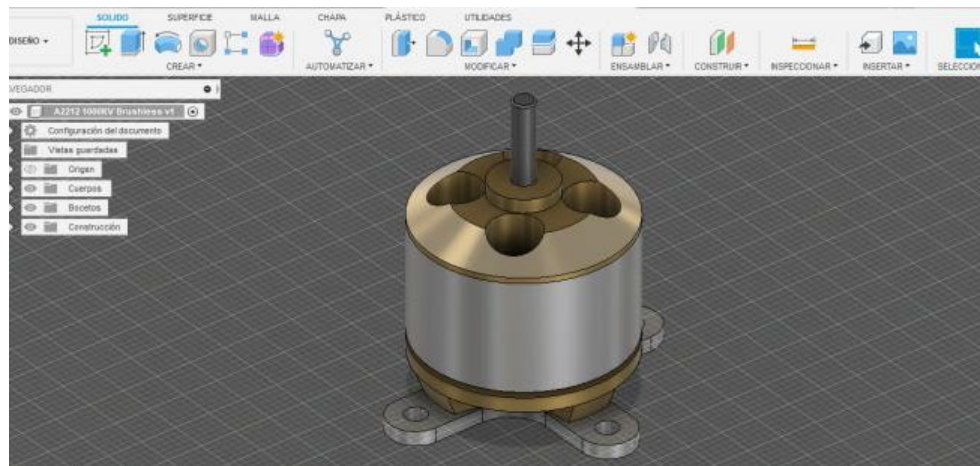
En el diseño de la turbina se ha dado prioridad al motor brushless debido a su eficiencia, potencia y peso. Se ha seleccionado el Motor Brushless 2212 6T 2200 KV que cumple con las siguientes especificaciones:

- Número de células: lipo 2-3s; 6-10 celdas Ni-Mh (2V a 12V)
- Eficiencia máxima: 80%
- Resistencia interna: 90m Ω
- Corriente máxima: 12A/60s
- Vatios máximos: 239 W
- Corriente de carga: 21.5A

- Tamaño del eje: 3,17 mm
- Peso: 49 g (incluidos todos los accesorios)
- Dimensiones: 27,5x30 (mm)
- ESC mínimo recomendado: 18A
- Peso del modelo recomendado: 300-1000g
- Orificios de montaje: 3 mm (M3)

En el anexo 1 se disponen más características técnicas del motor Brushless 2212 6T 2200, además se realizó un diseño del armazón del motor (ver figura 60).

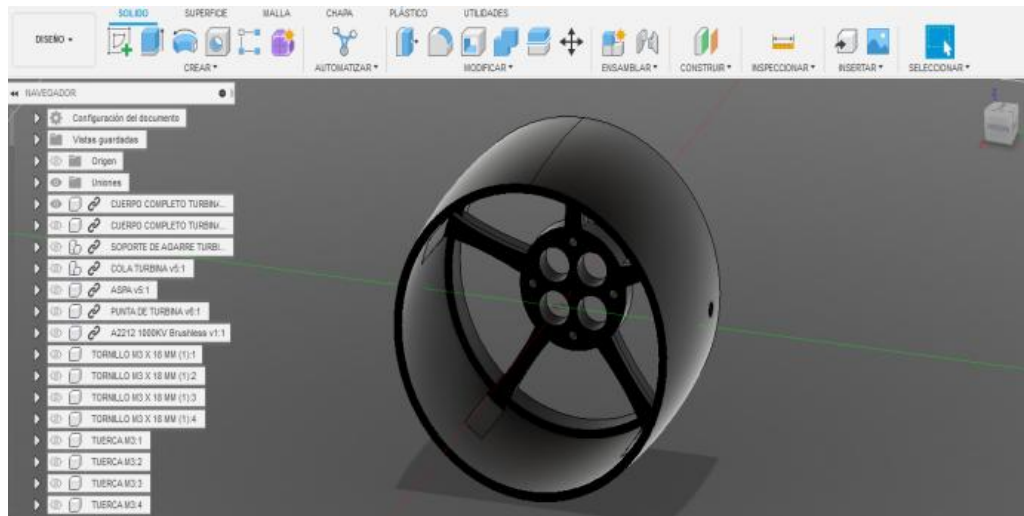
Figura 60. Diseño armazón motor Brushless 2212 6T 2200.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Una vez que se tiene el diseño del motor y sus especificaciones, se procedió a diseñar la turbina que está compuesta por seis piezas móviles. La primera pieza (ver figura 61) se diseña como un soporte para adaptar el motor mediante cuatro tornillos de sujeción con una dimensión de M3 X 18mm, los cuales se acoplan al diseño estructural del cuerpo 1 con el acople del motor, y se utilizan respectivas tuercas para asegurar la sujeción.

Figura 61. Diseño soporte de motor.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

En la figura 62 se puede observar el procedimiento de acoplamiento del motor al soporte mediante el uso de los tornillos de sujeción.

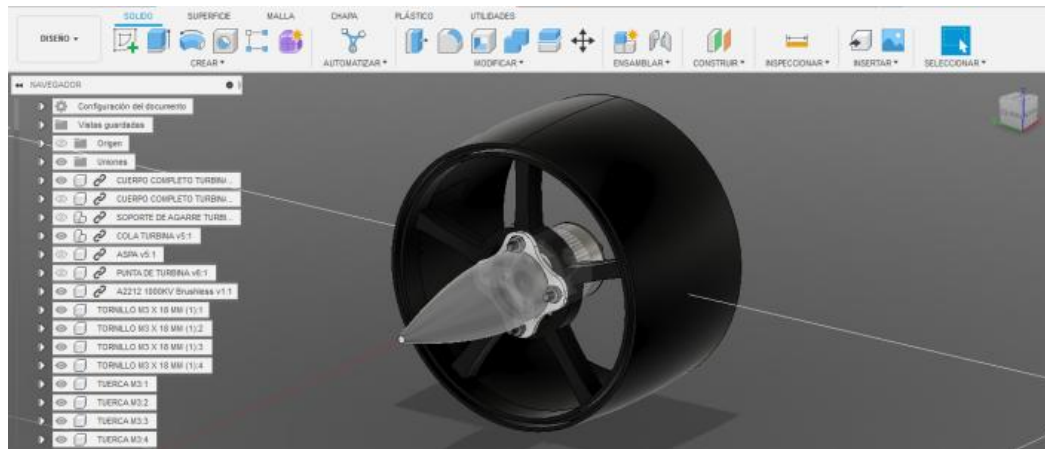
Figura 62. Acople del motor a soporte.



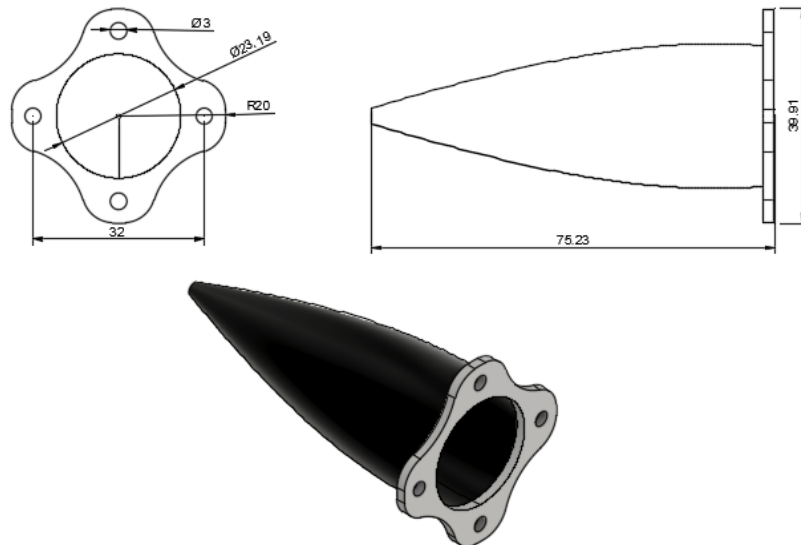
Fuente:(Propia de autor, 2023)

En esta etapa se diseñó la cola de la turbina, la cual tiene la función de enfocar el flujo en el área de salida, con el objetivo de acelerarlo y aumentar el empuje generado por la turbina. Cabe destacar que todo el sistema de la turbina se acopla mediante encajes o mediante tornillos de sujeción, para así facilitar el proceso de impresión 3D. En la figura 63 y figura 64 se aprecia el diseño y acople de la cola de turbina.

Figura 63. Acople de la cola de turbina en motor.



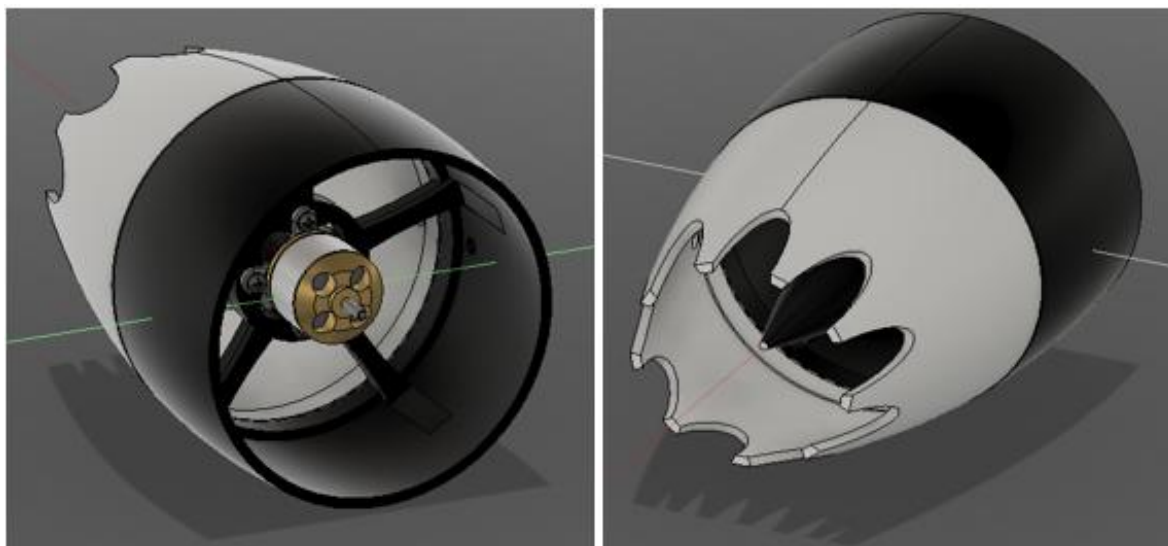
Fuente:(Propia de autor, 2023)
Figura 64. Diseño cola de turbina.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

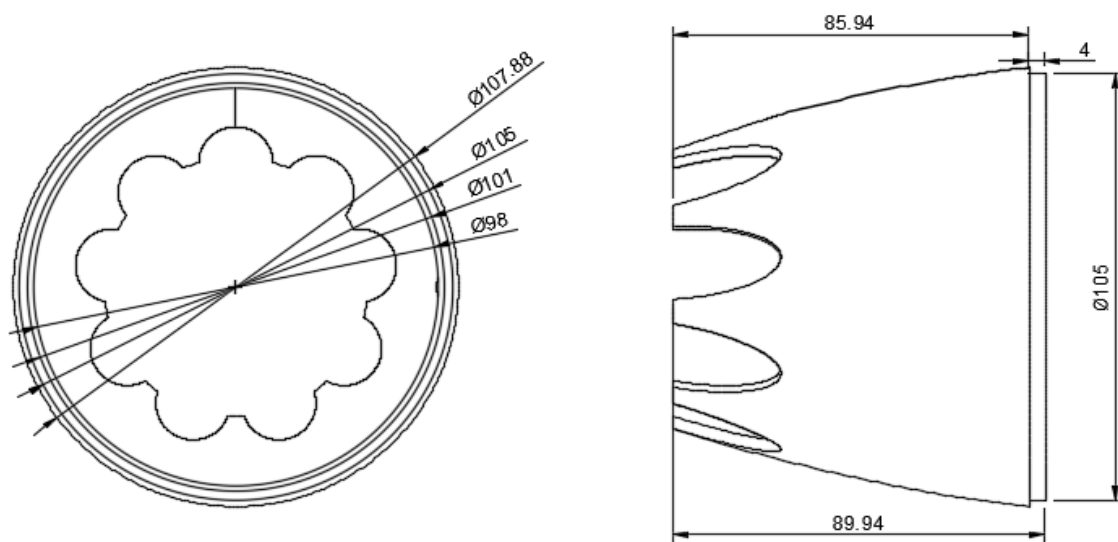
Se diseñó un segundo cuerpo para la turbina, el cual tendrá la función de reducir la salida del flujo de agua que entra, generando así una mejora en la potencia de la turbina al combinarse con la cola ya diseñada (ver figura 65 y figura 66).

Figura 65. Segundo cuerpo de turbina



Fuente:(Propia de autor, 2023)

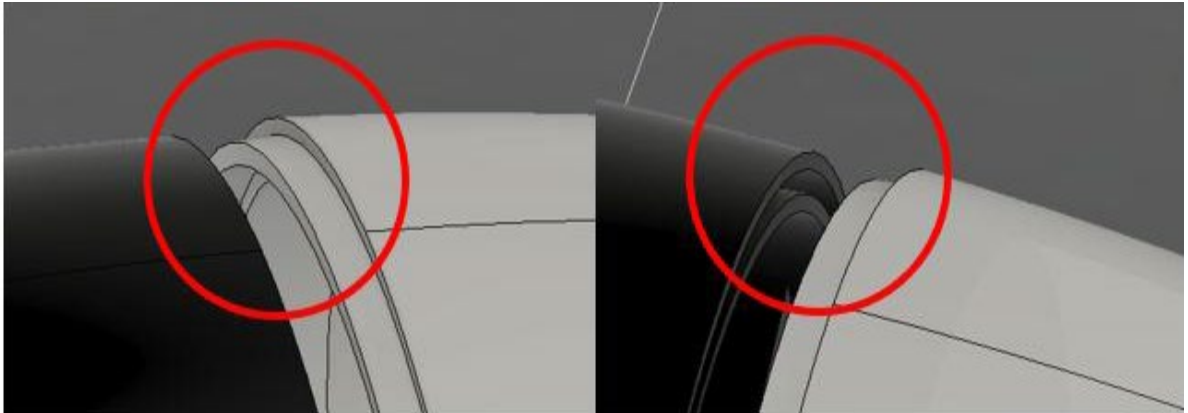
Figura 66. Diseño de segundo cuerpo de turbina



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Esta va unida por medio de un acople macho al cuerpo 1 de la turbina que posee un acople hembra como se observa en la figura 67.

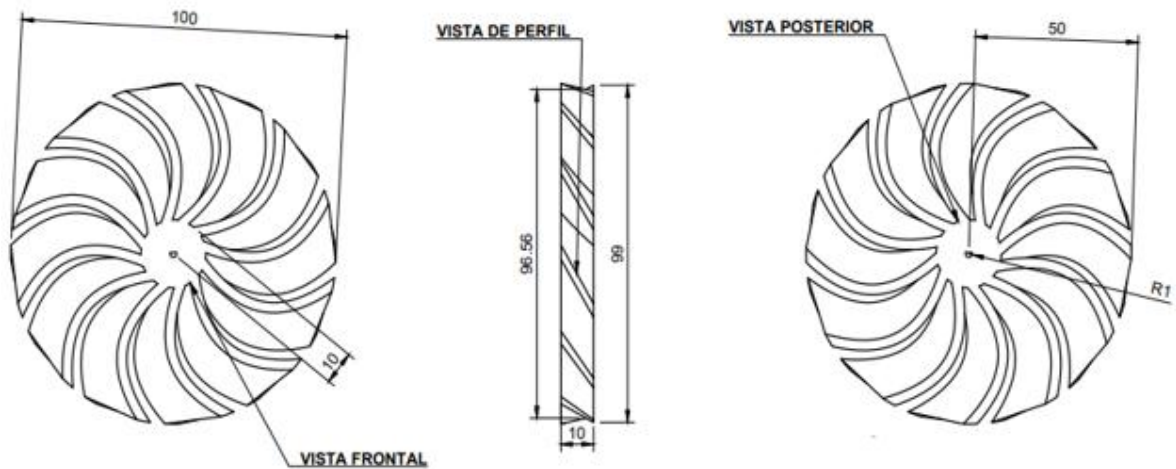
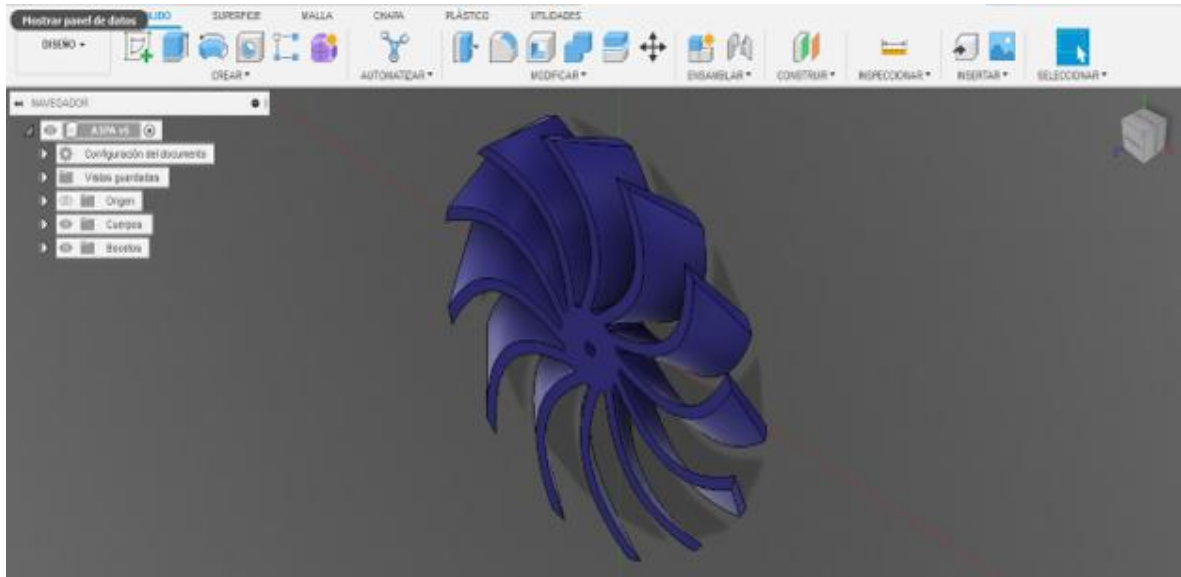
Figura 67. Unión de cuerpo 1 & cuerpo 2 de la turbina.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Una vez completada la estructura principal de la turbina, el siguiente paso consiste en diseñar la hélice y la punta de la turbina. Para la hélice, se tomó como referencia una hélice convencional y se procedió a crear su modelo en 3D para su posterior impresión, en la figura 68 se observa el diseño de la hélice.

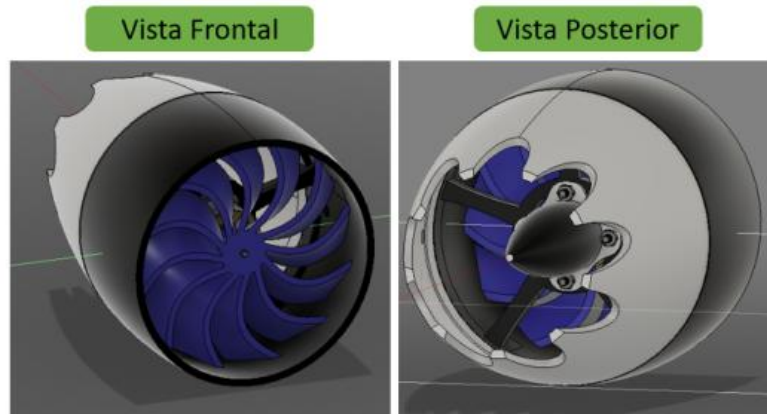
Figura 68. Diseño de hélice.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

En la figura 69 se observa la disposición de los 5 elementos diseñados.

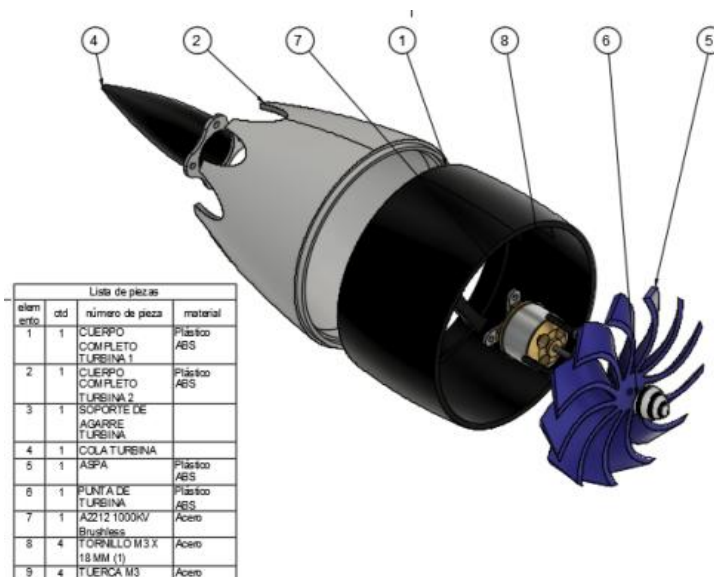
Figura 69. Disposición de elementos de la turbina.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Finalmente, se logró ajustar el aspa al eje del motor mediante presión, y se terminó de ajustar utilizando la última pieza, la punta de la hélice. Esta pieza cumplió dos funciones importantes: mantener la posición de la hélice en el eje del motor y maximizar la entrada del flujo de agua.

Figura 70. Diseño de turbina



Fuente:(Propia de autor, 2023)

8.1.3. CALCULOS DE RESISTENCIA AL AVANCE DEL ROBOT.

Para calcular la resistencia al avance del robot se utilizarán los datos obtenidos

durante el ensamblaje del diseño del robot, los cuales se encuentran en el anexo 4. Para ello, se empleará la fórmula de resistencia al avance de un objeto en un fluido (Nouri, 2018):

$$R = (\rho * A * C * V^2) / 2 \quad \text{(ecuación 4)}$$

Donde,

R es la resistencia al avance en Newtons (N),

ρ es la densidad del fluido en kilogramos por metro cúbico (kg/m³),

A es el área frontal del objeto en metros cuadrados (m²),

C es el coeficiente de resistencia del objeto (un valor adimensional),

V es la velocidad del objeto con respecto al fluido en metros por segundo (m/s)

Primero, se convirtieron las unidades de volumen y área a metros:

$$V_{\text{robot}} = 8.176E+06 \text{ mm}^3 = 0,008176 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{robot}} = 5.994E+06 \text{ mm}^2 = 0,005994 \text{ m}^2$$

Luego, se calculó el coeficiente de resistencia del robot. Este valor depende de la forma y características del objeto, y debe ser determinado a partir de ensayos experimentales o simulaciones. Por lo tanto, se supuso un valor de $C = 0.8$ como ejemplo.

Finalmente, se calculó la resistencia al avance del robot para una velocidad determinada. En este caso, se supuso que el robot se mueve a una velocidad de V igual a 0.5 m/s, por lo tanto:

$$R = (997 \text{ kg/m}^3 * 0.005994 \text{ m}^2 * 0,8 * 0,5^2) / 2$$

$$R = 0,249 \text{ N}$$

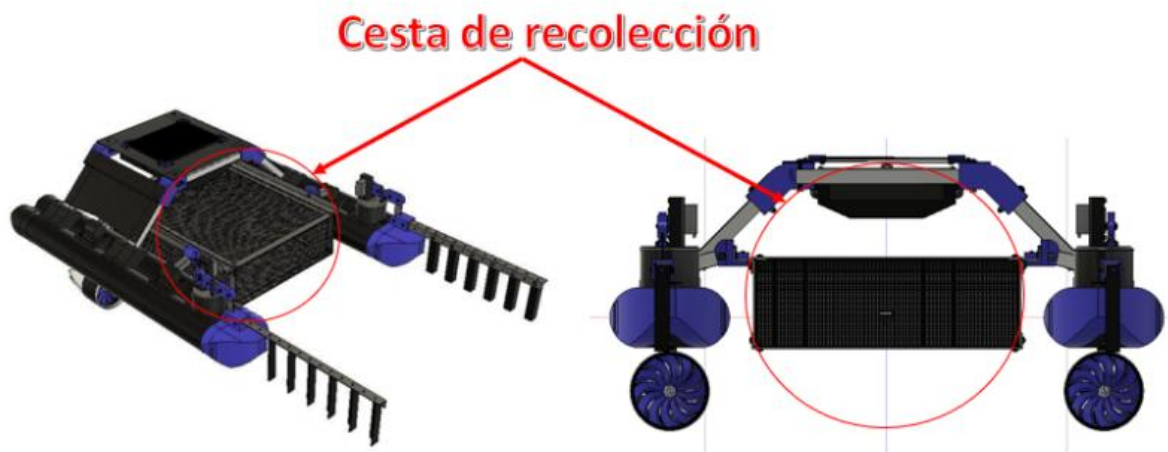
Por lo tanto, la resistencia al avance del robot es de aproximadamente 0,249 N a una velocidad de 0,5 m/s.

Una vez se realicen las evaluaciones de funcionamiento del prototipo y se obtenga la medición de su velocidad, se procederá a ajustar la fórmula para obtener una resistencia al avance del robot más acertada.

8.1.4. DISEÑO DE MÓDULO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS.

El diseño del módulo de recolección del robot consta de una estructura que se acoplará entre los dos cascos del modelo catamarán (ver figura 71). Su función principal es actuar como un tamizador o red de captación con el propósito de almacenar los residuos plásticos presentes en la superficie del agua. El módulo está diseñado para permitir una fácil extracción de los residuos capturados, lo que garantiza eficiencia en el proceso de limpieza y la reutilización del módulo en múltiples operaciones.

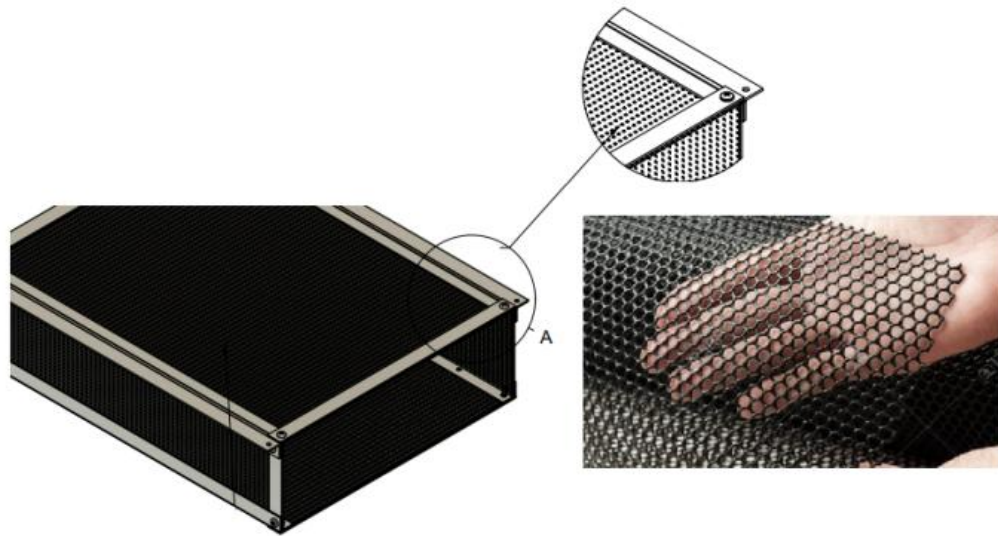
Figura 71. Módulo de recolección.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

La malla del módulo de recolección está constituida por dos materiales: uno para retener los plásticos grandes y otro para retener los microplásticos. La malla plástica (ver Figura 72) retendrá los plásticos grandes y a su vez esta se recubría con una tela de microfibra a base de monofilamento de polietileno (ver figura 73) para almacenar los plásticos más pequeños (microplásticos).

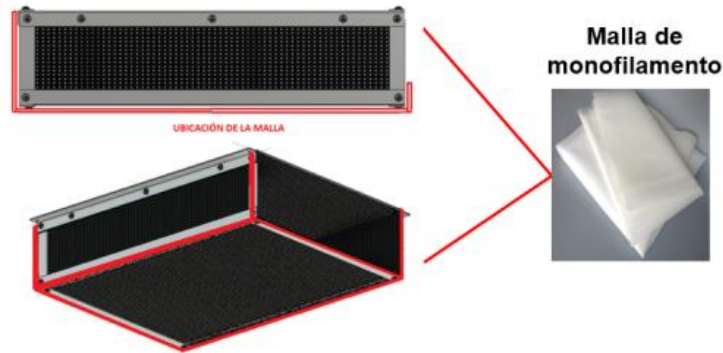
Figura 72. Malla plástica del módulo de recolección.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

La característica distintiva de la malla de monofilamento es el tamaño de su criba. En este tipo de redes se suelen emplear mallas con tamaños que varían entre 53 y 3000 μm , siendo las más comunes las redes de entre 300 y 390 μm . Para el presente proyecto se utilizó una red con una criba de 382 μm , como se muestra en la figura 73.

Figura 73. Malla de monofilamento del módulo de recolección.

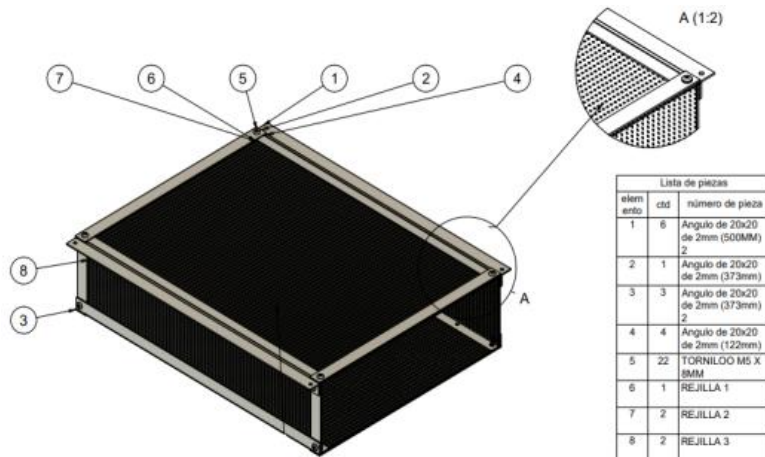


Fuente:(Propia de autor, 2023)

La malla monofilamento de polietileno se ubicará en el módulo de recolección como se muestra en la figura 73. Esta cubrirá la parte inferior, posterior y laterales del módulo, ya que no es necesario recubrir la parte superior debido a que el módulo no estará completamente sumergido y esa zona no generará una filtración significativa.

Finalmente, ambas mallas se acoplarán a un marco de aluminio que a su vez se acoplará a los cascos del robot mediante el uso de tornillos; se utilizó aluminio para disminuir el peso. En la figura 74 se aprecia el diseño final del módulo de recolección.

Figura 74. Diseño de módulo de recolección.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

8.1.4.1. CARACTERÍSTICA DE LA RED DE CAPTACIÓN.

La malla que almacenará los plásticos más grandes está hecha de polietileno, que es un polímero ampliamente utilizado en la industria del plástico debido a sus propiedades únicas. Su propiedad química más representativa es su alta resistencia al cambio de forma a menos que se le aplique una fuerza externa. El polietileno se obtiene mediante la polimerización del etileno y se caracteriza por su ligereza, flexibilidad y durabilidad.

El polietileno tiene una excelente resistencia química, es resistente al agua y a la mayoría de los ácidos y alcalinos, lo que lo hace ideal para su uso en aplicaciones en contacto con productos químicos. También es resistente a la radiación UV y a las condiciones climáticas adversas, lo que lo hace adecuado para su uso en exteriores. Otra propiedad destacable del polietileno es su baja densidad, lo que lo convierte en un material liviano pero fuerte, ideal para aplicaciones que requieren una alta relación resistencia-peso. Además, el polietileno es fácil de procesar y reciclar, lo que lo convierte en una opción sostenible.

La malla que almacenara los microplásticos está constituida por monofilamentos de polietileno, que es un material utilizado en la industria para la fabricación de cables, redes de pesca, redes de seguridad de construcción, blindaje de redes, y redes protectoras, entre otros. En el caso del proyecto, la permeabilidad del polietileno es especialmente importante porque permitirá que el agua fluya libremente a través de la malla sin generar demasiada resistencia al avance del robot. Esto es crucial para garantizar que el robot pueda recolectar los desechos plásticos de manera eficiente sin quedar atrapado o detenido en el proceso.

Además, los monofilamentos de polietileno son un material resistente y ligero, lo que lo hace ideal para la construcción de la malla de la cesta que se utilizará para almacenar los microplásticos recolectados.

8.2. DISEÑO DE SISTEMA ELECTRÓNICO.

Para garantizar el óptimo funcionamiento del proyecto, es necesario contar con una instalación eléctrica y un sistema de transmisión de órdenes que permitan la propulsión y control del robot. Es importante realizar una cuidadosa selección de cada componente electrónico y eléctrico para asegurar su correcto desempeño en el proyecto.

8.2.1. CÁLCULO DE MOTORES.

8.2.1.1. REQUERIMIENTOS DEL MOTOR

Alimentación: Se seleccionó un motor eléctrico sin escobillas sumergible para adaptarlo al cuerpo del diseño de la turbina, lo que permitirá un funcionamiento óptimo en las condiciones previstas. Esta opción fue preferida sobre el uso de motores diésel o de gasolina, ya que estos son más difíciles de encontrar, tienen un rendimiento menor y su mantenimiento es más costoso. En resumen, la elección del motor eléctrico sin escobillas es la más adecuada y eficiente para este caso.

Versatilidad: La reversibilidad de la polaridad en los motores eléctricos sin escobillas es una gran ventaja que permite realizar diversos movimientos, incluyendo el pivotaje estático, lo que mejora notablemente la maniobrabilidad del dispositivo.

Impermeabilidad: El motor eléctrico que se utilizará en la estructura de la turbina no necesariamente debe ser completamente estanco, ya que existen en el mercado diversas opciones que ofrecen garantías de impermeabilidad

Potencia y par requerido: La elección adecuada del motor es crucial para garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo. Para seleccionar el motor adecuado, se deben tener en cuenta la velocidad máxima que se espera del dispositivo y la resistencia al avance del casco, que puede calcularse. Además, se

debe proporcionar un margen de seguridad para evitar sobrecargar el motor.

El par requerido dependerá de la hélice. Aunque lo ideal sería tener un par alto a bajas RPM, esto puede complicar significativamente el diseño al requerir un reductor de velocidad. En cambio, se puede diseñar la hélice en función de las RPM del motor para optimizar la eficiencia y el rendimiento del dispositivo.

Dimensiones: El tamaño del motor no es un gran problema, ya que la estructura de la turbina es amplia y se puede ampliar si es necesario. Los motores eléctricos sin escobillas generalmente tienen un tamaño máximo de 42 mm de longitud y 36 mm de diámetro.

Voltaje de alimentación: Para adecuar la electrónica necesaria (batería, controlador y cableado) a la potencia del motor, es importante considerar la tensión requerida por el mismo. Los motores eléctricos sin escobillas que se adaptan a las necesidades suelen trabajar con una tensión entre 7,2V y 20V. De esta manera, se pueden seleccionar los componentes electrónicos adecuados en función de la potencia del motor, asegurando un correcto funcionamiento del dispositivo.

Variables del robot: Los motores eléctricos actuales son altamente eficientes, lo que permite a los usuarios elegir baterías adecuadas para lograr una buena autonomía sin tener que preocuparse demasiado por el consumo eléctrico.

En cuanto al número de motores, en este caso se utilizarán dos, los cuales estarán ubicados en la cola de los dos cascos sumergidos. De esta manera, la potencia total de avance se repartirá entre ambos motores, lo que permitirá lograr una mayor eficiencia energética y maniobrabilidad del dispositivo en el agua.

8.2.1.2. DISEÑO DE MOTORES.

Para el cálculo de los motores se tuvieron en cuenta varios factores importantes. En primer lugar, se consideró la presión hidrostática que ejerce el agua sobre el robot. En segundo lugar, se tuvo en cuenta la densidad del agua y cómo influye en la resistencia hidrodinámica del robot. Por último, se consideró la profundidad a la que el sistema catamarán se hundirá, que será de 0.02 m. Todos estos factores son esenciales para elegir los motores adecuados para el proyecto.

$$\text{Densidad del agua: } 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Por lo tanto:

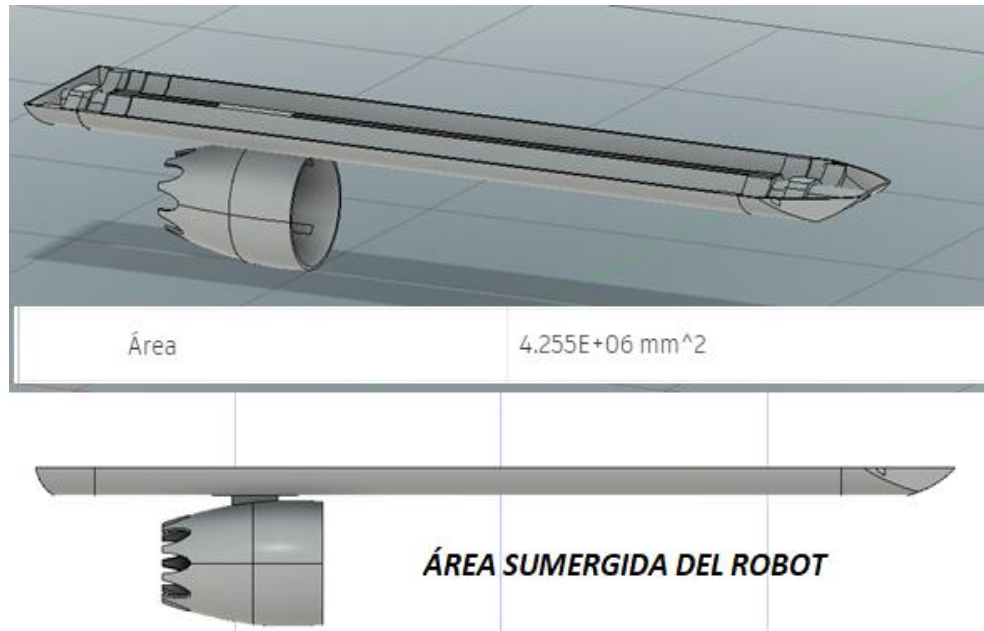
$$\text{Presion Hidrostatica} = \rho * g * h$$

$$\text{Presion Hidrostatica} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.02 \text{ m}$$

$$\text{Presion Hidrostatica} = 196 \text{ Pa}$$

Teniendo el valor de la presión hidrostática ejercida sobre el robot, daremos una velocidad estimada del robot la cual será de $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, y el área de la superficie del robot es de 0.008511 m^2 , tenemos que la superficie de contacto es $4.255\text{E}+6 \text{ mm}^2$ como se observa en la figura 75.

Figura 75. superficie de contacto.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Además, como son dos sistemas de flotación nos da que el área total es de 0,008511m². Calculando la superficie se obtuvo el valor de la fuerza ejercida por el agua sobre el robot es de 1,66815 N.

El torque necesario para el movimiento del robot depende de varios factores, como la forma del casco, la velocidad y la densidad del agua, y la resistencia hidrodinámica. Utilizando los datos obtenidos tenemos que:

$$\mathbf{M} = \mathbf{F} * \mathbf{d} \quad \text{(ecuación 5)}$$

$$\mathbf{M} = 1,66815 \text{ N} * 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mathbf{M} = 0,0834078 \text{ N} * \text{m}$$

Con el Torque necesario lo dividimos entre los dos motores y se obtuvo que para lograr el movimiento del robot con las especificaciones anteriores cada motor debe tener un par de $0,417039 \text{ N} * \text{m}$. los motores cumplen con las características requeridas ya que cada motor tiene un máximo de $0,8 \text{ kg} * \text{cm}$.

$$1 \text{ Kg} * \text{cm} = 0.0980665 \text{ N} * \text{m}$$

Por lo tanto:

$$0.8 \text{ Kg} * \text{cm} = 0.0730215 \text{ N} * \text{m}$$

$$\text{Torque total de los motores} = 0,146043 \text{ N} * \text{m} * 2$$

Se concluye que el torque de los motores es suficiente para que el robot pueda moverse a una velocidad de 0.05 m/s , con una profundidad de $0,0.2 \text{ m}$.

8.2.2. DISEÑO DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN RADIO CONTROLADO.

Para simplificar el proyecto, ahorrar costos y tiempo, se decidió no fabricar el sistema de comunicación del mando y en su lugar se seleccionó un radio control comercial que cumple con las especificaciones necesarias para el proyecto. En este caso, se eligió el radio control Turbo Racing P32 91803G-C, que cuenta con las siguientes características:

- Nombre del modelo: P32 (91803G-B)
- Canales: 4CH
- Tamaño: 137*162*68mm
- Alimentación: 4 Baterías AAA (No incluidas)
- Frecuencia: 2.4 GHz
- Receptor: RX41 (tamaño: 34*18,13mm)
- Longitud de Antena del receptor: 90mm

- A prueba de agua: Sí
- Advertencia de batería baja
- Pantalla LCD: Sí
- Otros ajustes funcionales: EXP/REV/EPA/TRIM

En los radios de control remoto, existen diferentes protocolos de comunicación según el tipo de equipo y fabricante utilizado. Uno de los protocolos más utilizados es el de modulación de amplitud (AM), que se emplea en radios de bajo costo. Por otro lado, el protocolo de modulación por ancho de pulso (PWM) se utiliza en radios de mayor precisión y calidad. También hay otros protocolos menos comunes, como FHSS y DSSS, que se usan en radios de alta gama.

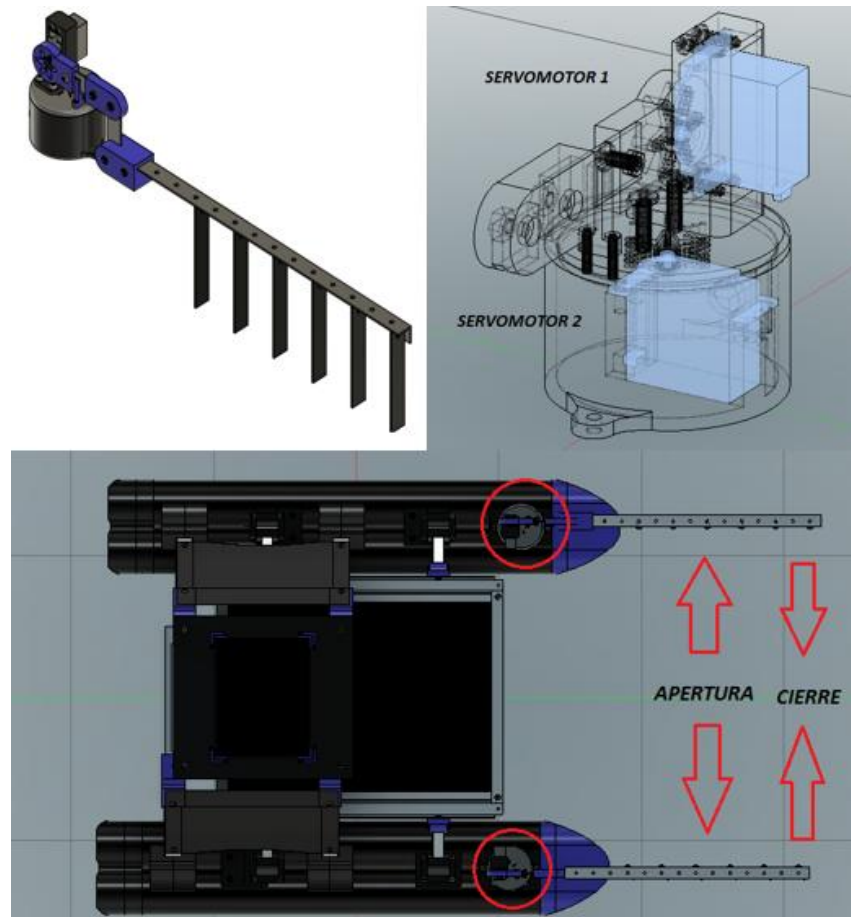
El Radio Control Turbo Racing P32 91803G-C es un dispositivo que utiliza el protocolo PW. Se implemento en el proyecto para el control de la velocidad y dirección del robot. Este dispositivo tiene cuatro canales de comunicación, diseñados para controlar las turbinas y el sistema de barrido del robot, siendo el canal 1 y 2 para el movimiento de las turbinas y el canal 3 y 4 para la posición del sistema de barrido.

8.2.3. DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

Para propulsar y controlar el robot se ha instalado un sistema eléctrico que maneja el sistema de barrido, el sistema de desplazamiento y la comunicación. Para mejorar la operación del robot, se ha decidido que el control no se realizará mediante un ordenador, sino que se controlará mediante un mando a distancia.

El sistema de barrido, el cual se muestra en la figura 76, es el primer sistema que se ha diseñado. Este sistema está compuesto por cuatro servomotores, que ayudan en la recolección de los residuos de mayor tamaño, lo que permite una recolección más efectiva. Este sistema funciona como una compuerta, que se abre y se cierra para direccionar los residuos hacia la cesta de recolección.

Figura 76. Sistema de barrido.

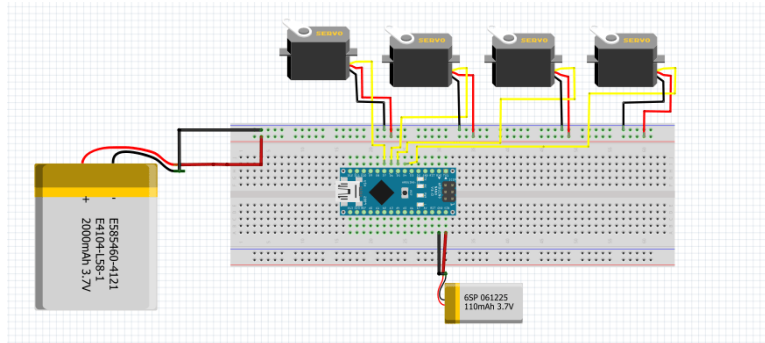


Fuente:(Propia de autor, 2023)

Los servomotores que componen el sistema de barrido son controlados desde el microcontrolador Arduino. Este dispositivo permite procesar las señales que se envían desde el mando a distancia hacia el receptor del robot. En la figura 78 se muestra la configuración del sistema de barrido.

Es importante destacar que el microcontrolador Arduino es una plataforma electrónica de código abierto, que se utiliza para el desarrollo de proyectos robóticos y de automatización. Este dispositivo cuenta con una gran capacidad de procesamiento y permite la conexión de diversos componentes electrónicos, como los servomotores utilizados en el sistema de barrido del robot en cuestión.

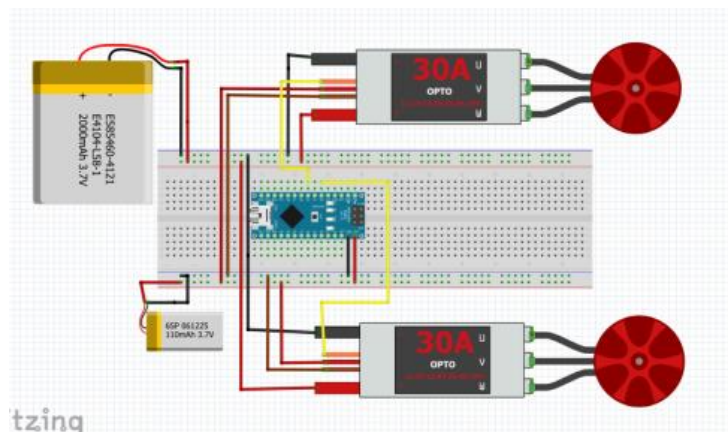
Figura 77. Sistema de barrido configuración electrónica.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Una vez diseñado el sistema de barrido, el equipo se centró en el diseño del sistema electrónico de las turbinas (ver figura 78). Para la construcción de la turbina de desplazamiento, se utilizaron dos motores brushless que se adaptaron para este propósito específico. Estos motores se alimentaron con una batería de lipo de 18000 mAh, que fue independiente de la alimentación del microcontrolador.

Figura 78. Diseño del sistema eléctrico de las turbinas.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Para controlar los motores brushless, se utiliza un ESC (Electronic Speed Control) conectado a los pines de señal de los motores. Aunque en Arduino se puede utilizar

la librería Servo.h para el control de servo motores, también es posible controlar ESCs de motores brushless con esta misma librería.

Es importante destacar que los ESCs son dispositivos electrónicos que se utilizan para controlar la velocidad de los motores brushless. Estos dispositivos se encargan de recibir las señales de control enviadas desde el microcontrolador, y de convertirlas en una señal de corriente alterna para alimentar los motores. Además, es posible ajustar la velocidad de los motores mediante la modificación de la señal de control enviada al ESC.

8.2.4. CALCULO DE BATERIAS DE SISTEMA ELECTRONICO.

Para calcular el tiempo de duración de una batería para un motor brushless, se necesita conocer la capacidad de la batería en amperios-hora (Ah) y la corriente de descarga del motor. Se tiene una batería de 14.4V y 1.8Ah, y el motor empleado tiene una corriente de descarga de 12A.

Para calcular el tiempo de duración, se sigue estos pasos:

Se divide la capacidad de la batería (1.8Ah) entre la corriente de descarga del motor (12A). El resultado es el tiempo de duración en horas.

$$1.8\text{Ah} \div 12\text{A} = 0.15 \text{ horas} = 9 \text{ minutos}$$

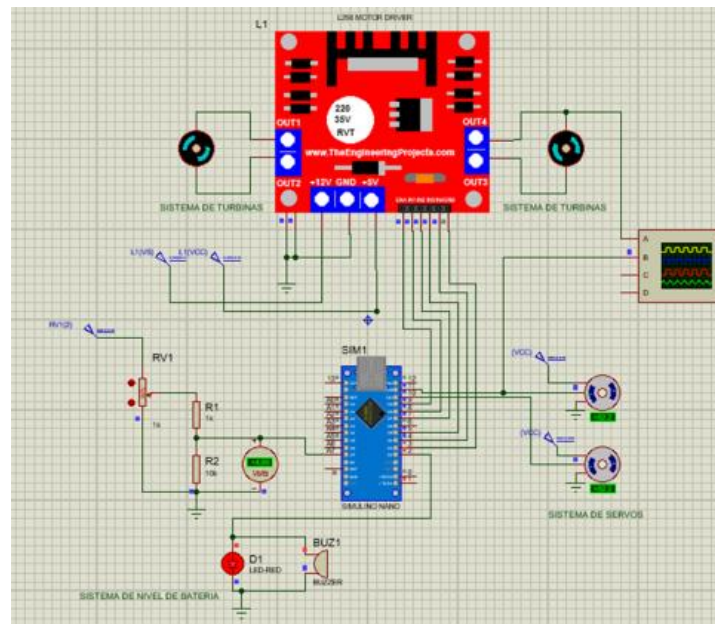
Teniendo en cuenta que este cálculo es una estimación, y que la duración real puede variar según varios factores, como la temperatura, la carga y la antigüedad de la batería. Además, se tiene en cuenta que la duración disminuirá a medida que aumente la carga del motor. Por lo tanto, es importante tener en cuenta la corriente de descarga del motor al seleccionar la batería adecuada para el sistema de turbinas. Por lo tanto, se implementaron baterías diferentes para la placa de control, como para el sistema de barrido, esto con el fin de prolongar la durabilidad del manejo del robot.

8.2.5. SIMULACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO EN PROTEUS 8.

Proteus 8 es un programa de simulación de circuitos electrónicos ampliamente utilizado en la industria para el diseño y verificación de sistemas electrónicos. En este proyecto, se utilizó Proteus 8 para verificar el funcionamiento del sistema robótico diseñado (ver figura 79).

Sin embargo, Proteus 8 presenta una limitante en la simulación directa de los ESC. Por esta razón, se generó un módulo que reemplazó el ESC para poder visualizar el sistema en la simulación de Proteus 8. De esta manera, se pudo obtener una representación precisa del funcionamiento de los sistemas del robot y verificar su correcta operación. La simulación permitió la identificación de posibles fallos y la optimización del diseño antes de la implementación física del robot.

Figura 79. Simulación de sistema electrónico en proteus 8.

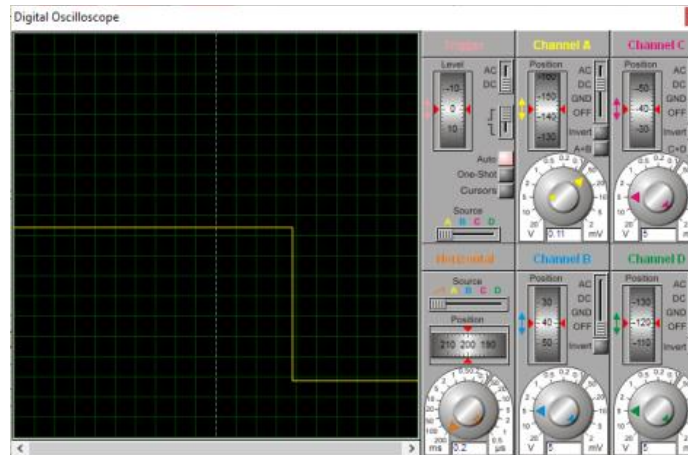


Fuente:(Propia de autor, 2023)

En el canal A del osciloscopio se puede observar el cambio de dirección y el ancho de pulso de una de las turbinas simuladas. Este análisis resulta de gran importancia

ya que permite evaluar la precisión y estabilidad en la generación de la señal de control de la turbina, aspectos cruciales para el correcto funcionamiento del robot.

Figura 80. Canal A del osciloscopio.

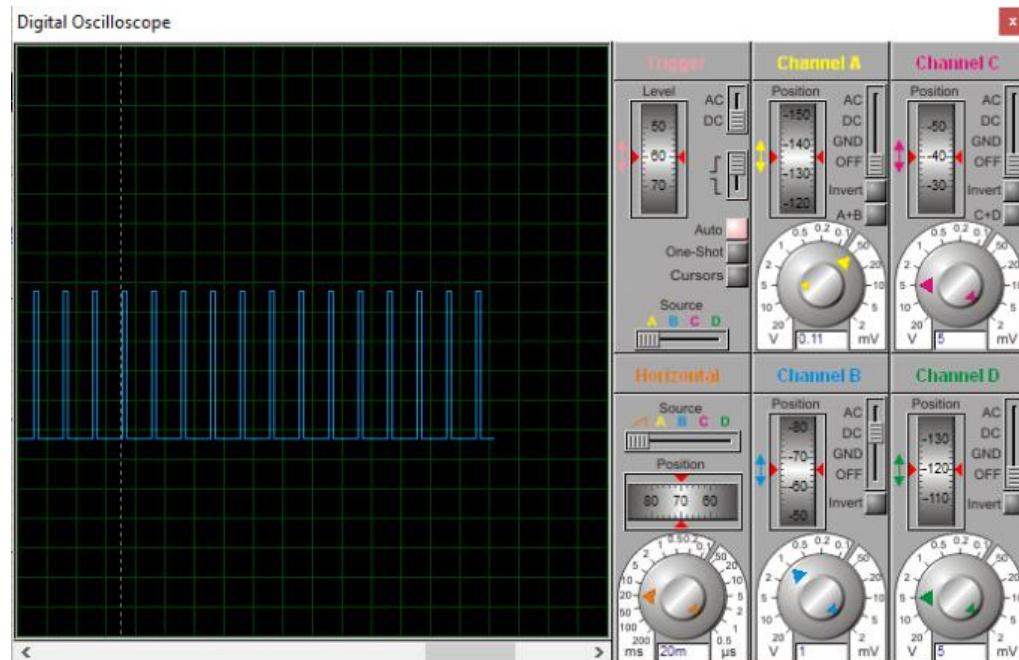


Fuente:(Propia de autor, 2023)

En el canal B del osciloscopio se conectó uno de los servos y se puede observar una señal cuadrada con un período de 20 milisegundos y un ciclo de trabajo que varía entre 1 y 2 milisegundos en función de la posición del servo (ver figura 81). Esta señal representa la señal de control que se envía al servo para posicionarlo en una determinada posición.

El análisis de la señal de control en el osciloscopio permite identificar la frecuencia y la amplitud de la señal, así como el ciclo de trabajo, que es el porcentaje del período que la señal está en nivel alto. En el caso del servo, el ciclo de trabajo se utiliza para indicar la posición deseada del mismo. De esta forma, el microcontrolador puede controlar la posición del servo mediante la modificación del ciclo de trabajo de la señal de control.

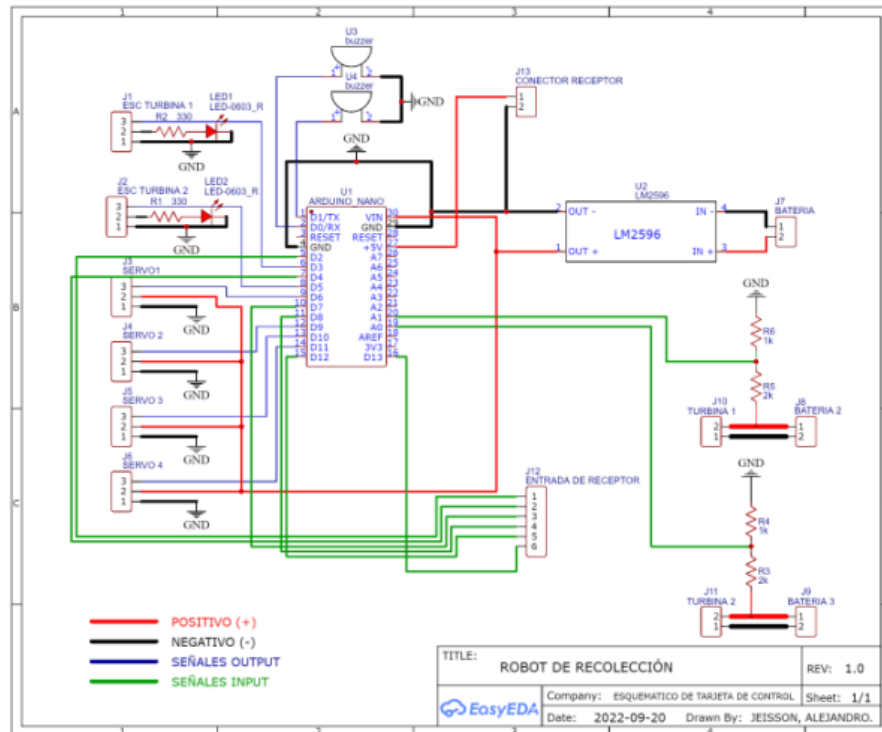
Figura 81. Canal B del osciloscopio.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Una vez realizada la simulación, se procedió a generar el esquemático para poder crear la placa de control (ver figura 82). En este proceso se adicionaron dos módulos, el L7805 y el L7812, los cuales son reguladores de voltaje integrados que se utilizan comúnmente en electrónica para proporcionar una fuente de alimentación estable. Estos son especialmente útiles en circuitos donde se necesita una fuente de voltaje constante y fiable, ya que ayudan a mantener un nivel de voltaje estable incluso cuando la entrada de voltaje varía. En el anexo 6 del documento se puede encontrar una versión más detallada del esquemático del sistema electrónico utilizado en el robot

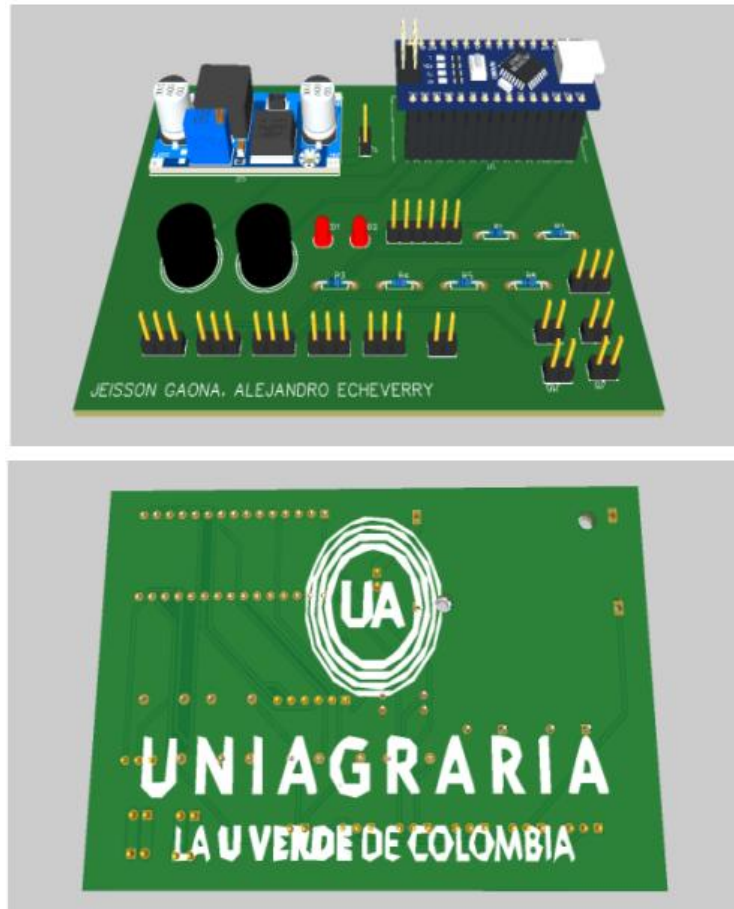
Figura 82. Esquemático de sistema electrónico.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Después de tener el esquemático, el siguiente paso es crear la PCB (ver figura 83) (Printed Circuit Board) utilizando el software de diseño de PCB KiCAD.

Figura 83. Diseño de PCB.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

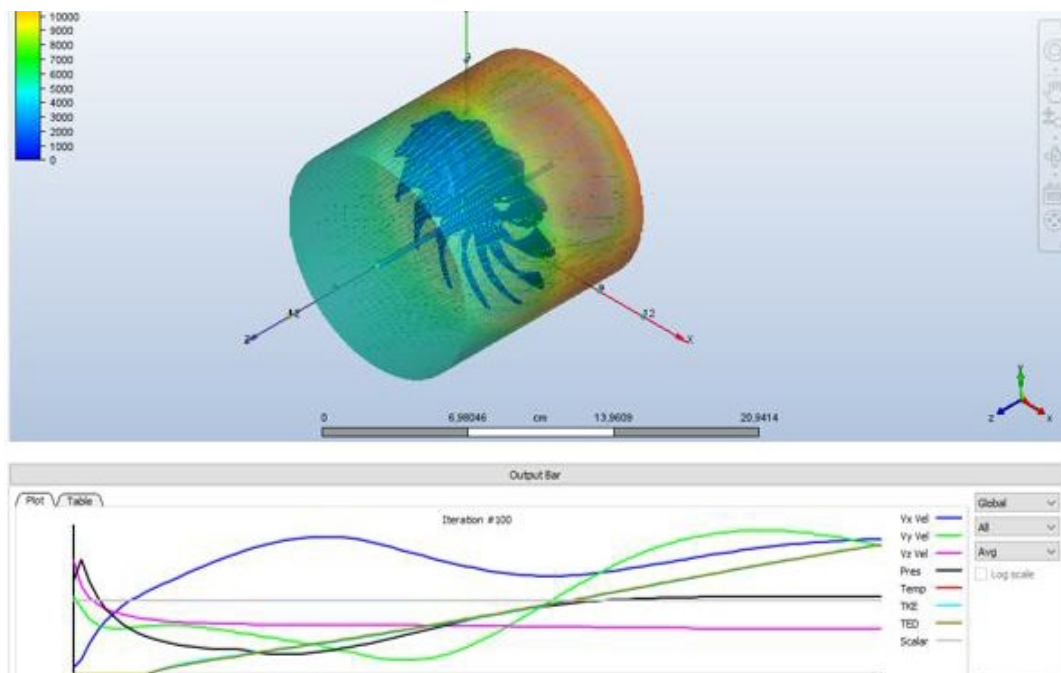
8.3. SIMULACIONES FEA.

Se llevo a cabo una simulación para determinar la presión que actuará sobre la hélice diseñada. Esta simulación se realizó a través del software de ANSYS® que permitió simular la interacción del fluido con la hélice en movimiento. Se definieron las respectivas las condiciones de operación, como la velocidad y la densidad del fluido, así como las propiedades geométricas y de material de la hélice.

8.3.1. SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE LA TURBINA.

Después de definir el eje de rotación y la velocidad de giro a 2200 revoluciones por minuto, se estableció el sentido del flujo en el eje Z y se fijaron las condiciones de contorno y las propiedades del sólido y el fluido. Como resultado de este proceso, se generó un mapa de presiones que muestra las variaciones de la presión en diferentes puntos de la superficie del sólido en rotación como se aprecia en la figura 84.

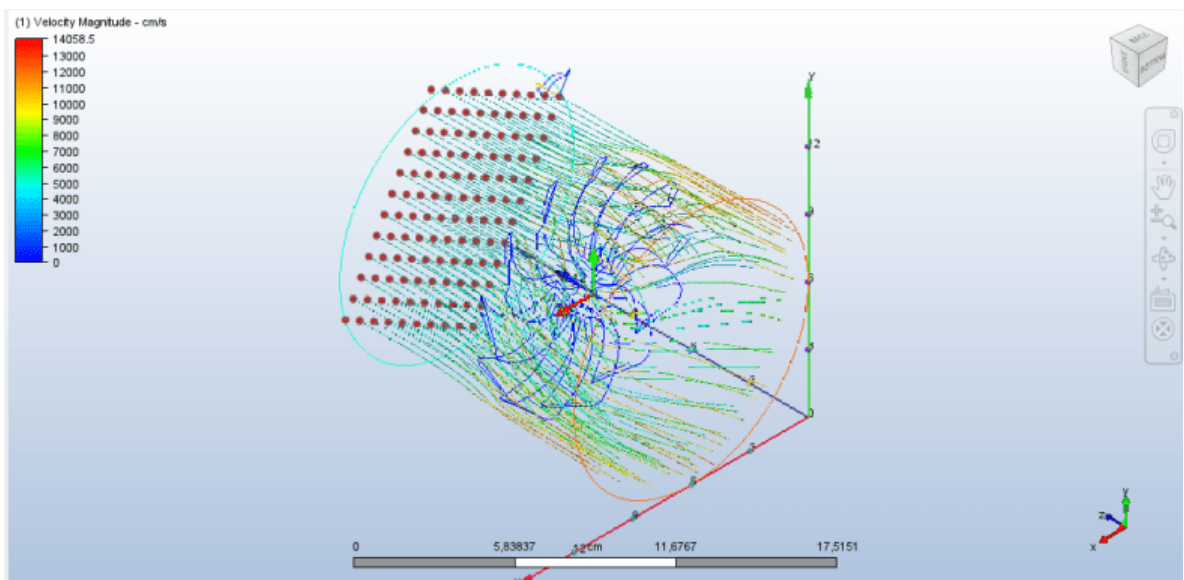
Figura 84. Simulación hélice.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

La distribución de presiones obtenida en la simulación es consistente con la que se espera en hélices, ya que se observan presiones significativamente mayores en la cara de presión en comparación con la cara de succión. Este patrón se debe a que la hélice está generando una fuerza de empuje al acelerar el flujo de fluido en la dirección axial. En consecuencia, el fluido en la cara de presión experimenta una aceleración adicional, lo que se traduce en una disminución de la presión estática. Por otro lado, en la cara de succión, el fluido se desacelera, lo que conduce a un aumento en la presión estática.

Figura 85. Líneas de fluido.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

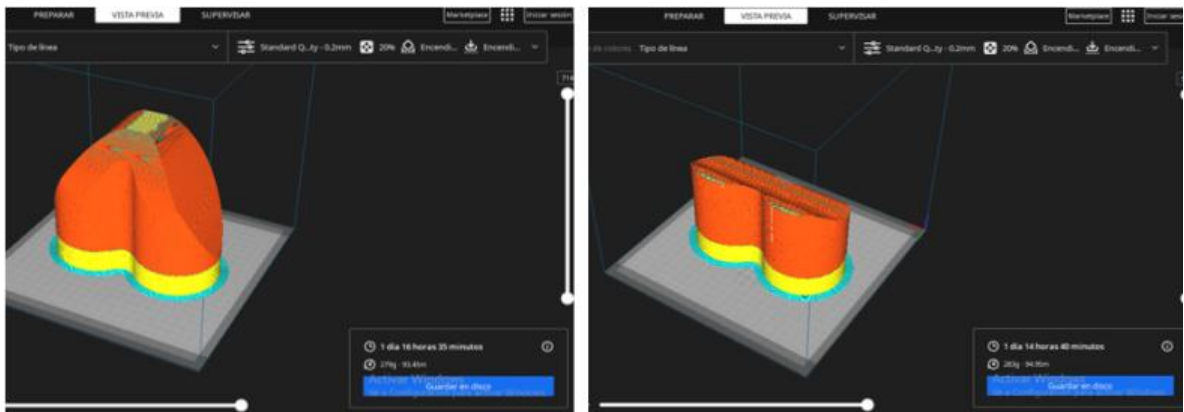
Las líneas de fluido también dieron resultados coherentes con lo esperado como se observa en la figura 85.

8.4. FABRICACIÓN.

8.4.1. IMPRESIÓN DE CHASIS & PIEZAS.

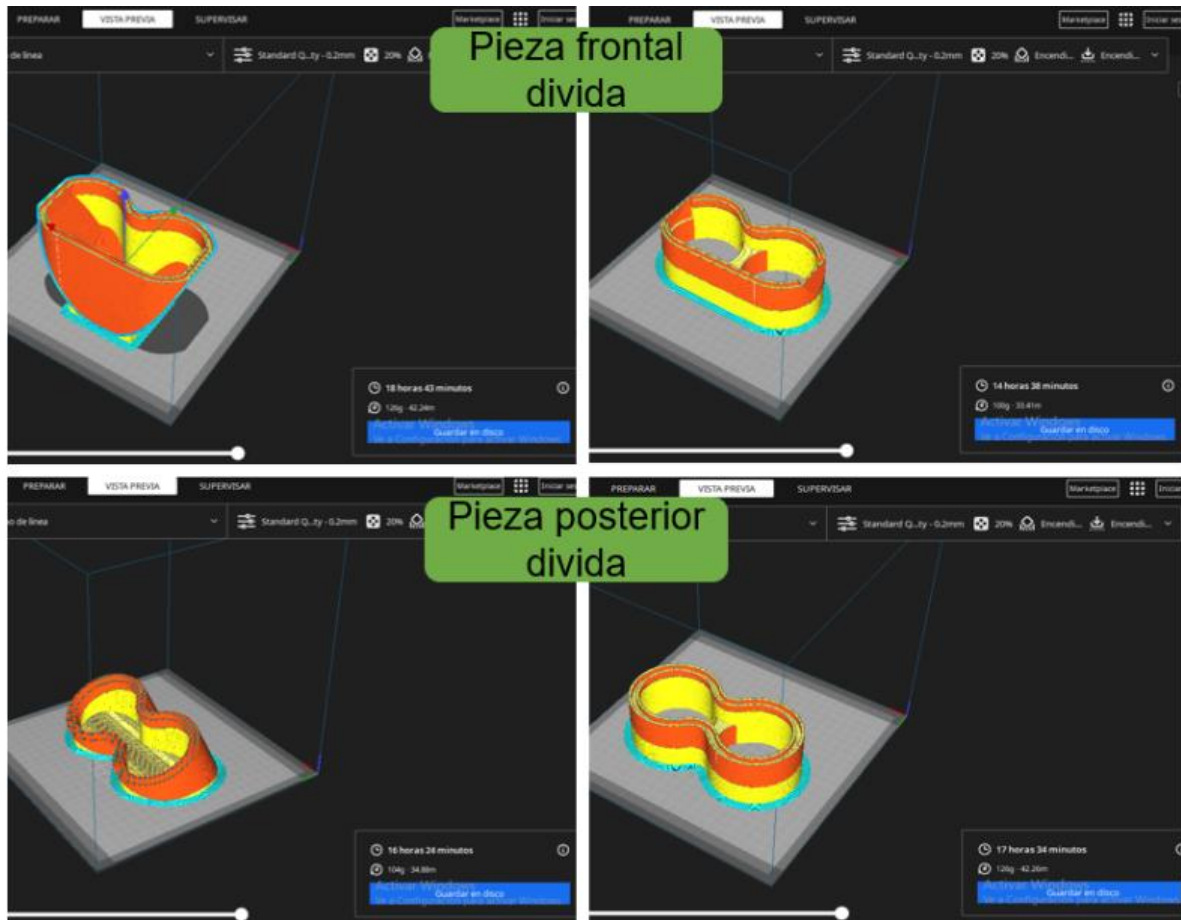
Inicialmente se imprimieron las piezas que actuaran como tapas de los cascos del robot, estas piezas se dividieron en 2 partes para tener una mayor efectividad en el tiempo de impresión, en la figura 86 se presenta el tiempo de impresión de la pieza frontal y posterior sin dividir las piezas y en la figura 87 se presenta el tiempo de impresión al dividir las piezas.

Figura 86. Tiempo de impresión de piezas sin dividir.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 87. Tiempo de impresión de la pieza con división.



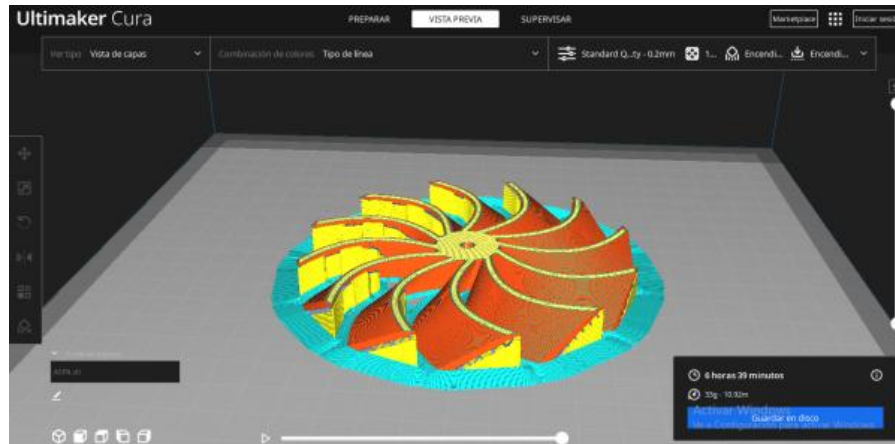
Fuente:(Propia de autor, 2023)

Al observar la figura 86 y figura 87, se puede notar una reducción en el tiempo de impresión. En el caso del acople frontal, el tiempo ha disminuido de 40 horas y 35 minutos a 33 horas y 21 minutos, lo que representa una reducción del 17.69%. Además, en el caso del segundo acople posterior, el tiempo ha pasado de 38 horas y 40 minutos a 33 horas y 58 minutos, lo que representa una reducción del 12.55%. En conjunto, estas reducciones implican una disminución del 30.23% en el tiempo total de impresión de ambas piezas.

En la figura 88 se muestra la impresión de la hélice, la cual ha sido diseñada teniendo en cuenta la alta velocidad de rotación del motor. Se ha tomado la decisión

de priorizar la robustez de la hélice por encima de su rendimiento, con el fin de garantizar su funcionalidad como propulsor. Para lograr soportar las fuerzas necesarias, se ha establecido una densidad de impresión del 100% durante el proceso de impresión de la hélice.

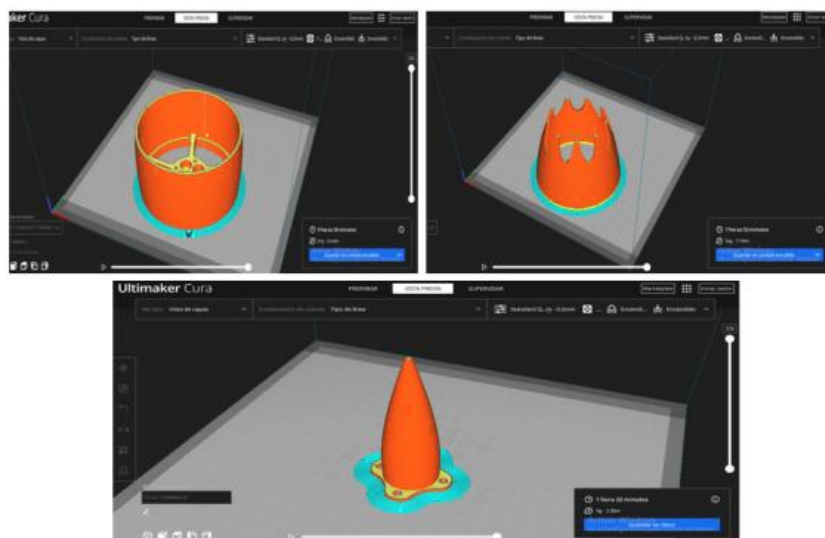
Figura 88. Impresión 3D de hélice.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

En la figura 89 se muestra la impresión de las demás piezas pertenecientes al sistema de propulsión.

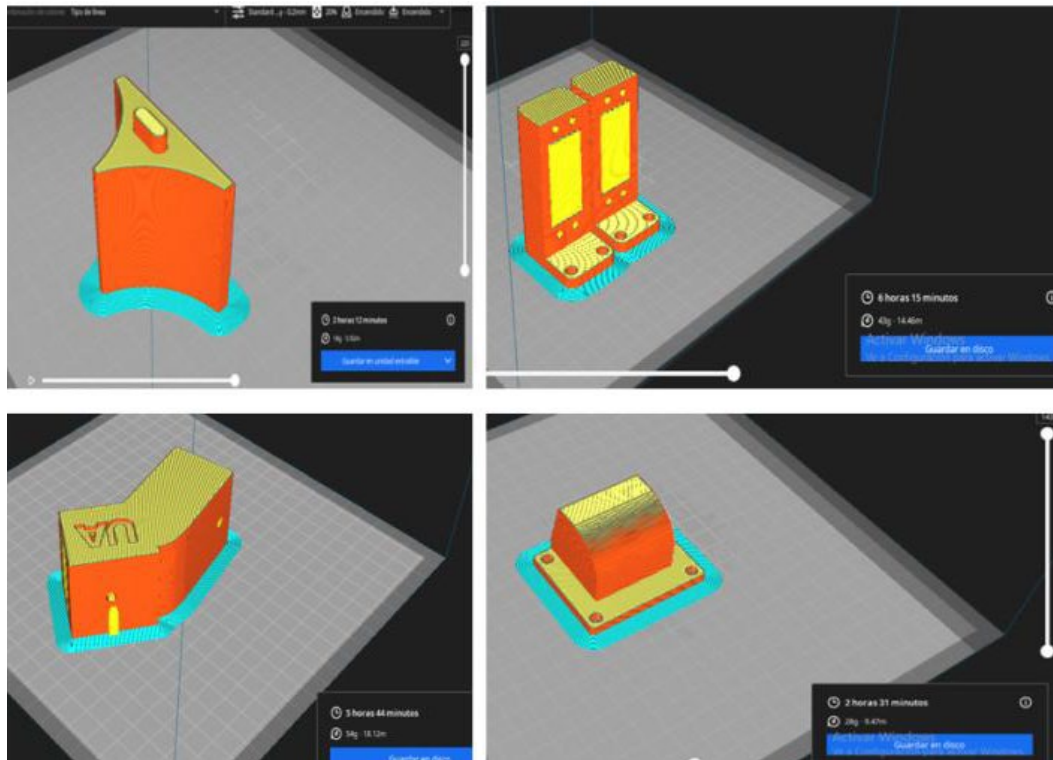
Figura 89. Impresión 3D de sistema de propulsión.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Finalmente se imprimieron los soportes y acoples de diversos elementos de la estructura, en el anexo 7 se podrá apreciar una tabla que muestra la relación de cada pieza impresa.

Figura 90. Impresión 3D de soportes y acoples.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Para la impresión 3D de todas las piezas se utilizó PLA, un material termoplástico biodegradable y fácil de imprimir. El diámetro del filamento utilizado fue de 1.75 mm y se configuró la impresora con una cama caliente a una temperatura de 50°C y una boquilla de extrusor de 2 mm. La temperatura de fusión del filamento se estableció en 200°C, lo que permitió una adecuada adhesión entre las capas de las piezas impresas.

Además, para mejorar la calidad de impresión y asegurar una buena adherencia a la plataforma de impresión se utilizó un método de adición tipo RAFT en todas las piezas. Este método consiste en generar una base adicional debajo de las piezas a imprimir, lo que aumenta la estabilidad de las mismas y facilita su retirada después de la impresión.

En cuanto a la densidad de las piezas, se imprimieron con una densidad del 60%, a excepción de la hélice, la cual se imprimió con una densidad del 100%. Esto se hizo para garantizar que la hélice tuviera la resistencia necesaria para soportar las fuerzas a las que estaría expuesta durante su funcionamiento.

8.4.2. CONSTRUCCIÓN DE LA CESTA Y RED.

En esta fase del proyecto, se avanzó en la construcción del módulo de captación de residuos, el cual es una parte clave del sistema de limpieza del robot. Para lograr una estructura resistente y ligera, se optó por utilizar ángulos de aluminio, lo que permitió una notable disminución del peso total. En la figura 91 se puede apreciar el ensamblaje general del módulo, el cual se llevó a cabo utilizando tornillos y amarres de plástico de alta resistencia para asegurar una unión sólida y confiable.

Figura 91. Ensamble del módulo de recolección.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Por último, se adaptó la malla de polietileno a la estructura del robot como se ve en la figura, igualmente se tomó el peso del módulo de recolección dando un resultado de 516 gr.

Figura 92. Malla ensamblada en módulo de recolección.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

8.4.3. ACTUADORES Y SISTEMA DE COMUNICACIÓN RF: PROGRAMACIÓN.

A continuación, se presenta el código para controlar los cuatro servomotores mediante un mando a distancia Flysky FS (ver figura 93).

Figura 93. Programación para controlar servomotores.

```
}  
  
void loop() {  
  // Leer los valores de los 4 canales del mando a control remoto  
  int channel1 = FlySkyIBus.readChannel(1);  
  int channel2 = FlySkyIBus.readChannel(2);  
  int channel3 = FlySkyIBus.readChannel(3);  
  int channel4 = FlySkyIBus.readChannel(4);  
  
  // Mapear los valores de los canales a un ángulo de giro (0-180 grados)  
  int angle1 = map(channel1, 1000, 2000, 0, 180);  
  int angle2 = map(channel2, 1000, 2000, 0, 180);  
  int angle3 = map(channel3, 1000, 2000, 0, 180);  
  int angle4 = map(channel4, 1000, 2000, 0, 180);  
  
  // Mover cada servo a la posición correspondiente  
  servo1.write(angle1);  
  servo2.write(angle2);  
  servo3.write(angle3);  
  servo4.write(angle4);  
}
```

Fuente:(Propia de autor, 2023)

Primero, se establecieron las conexiones necesarias para controlar los servomotores y se inicializaron las variables necesarias. Luego, se estableció un bucle para leer constantemente los valores de los canales del mando y actualizar la posición de los servomotores en consecuencia.

Para lograr esto, el código utilizó la biblioteca "Servo.h" para controlar los servomotores y la biblioteca "FlySkyIBus.h" para leer los valores del mando a distancia. Se creó un objeto "FlySkyIBus" y se conectó a un pin específico del Arduino para leer los valores de los canales del mando.

Después de eso, se crearon cuatro objetos "Servo" para controlar los cuatro servomotores. Se asignó cada objeto "Servo" a un pin específico del Arduino y se configuró el rango de ángulos permitidos para cada servomotor.

Luego, se estableció un bucle para leer continuamente los valores de los canales del mando a través del objeto "FlySkyIBus". Los valores de los canales se asignaron a variables específicas y se convirtieron en ángulos utilizando una función de un mapeo.

En esta etapa se realizó la programación del motor brushless, es importante destacar que, aunque la biblioteca "Servo.h" se utiliza principalmente para controlar servomotores, también puede utilizarse para controlar ESCs (Electronic Speed Controllers) que controlan los motores brushless.

El ESC se conecta a los pines de señal de los motores brushless, y la biblioteca "Servo.h" se puede utilizar para enviar señales de pulso PWM al ESC para controlar la velocidad del motor. El ancho de pulso del PWM que se envía al ESC determinará la velocidad del motor.

Para utilizar la biblioteca "Servo.h" para controlar un ESC, se debe conectar el pin de señal del ESC a un pin PWM del Arduino y crear un objeto "Servo" para ese pin. Luego, se utiliza la función "writeMicroseconds()" de la biblioteca "Servo.h" para enviar pulsos PWM al ESC en lugar de utilizar la función "write()" que se utiliza para controlar servomotores en la figura 94 se muestra un fragmento de la programación implementada inicialmente para el control.

Figura 94. Programación ESC.

```
void loop() {
  // Leer la entrada de la señal del radio control
  int velocidad = analogRead(A0);
  int direccion = analogRead(A1);

  // Mapear la entrada de la señal del radio control par dar velocidad a los valores PWM para los motores
  int velocidad_pwm = map(velocidad, 0, 1023, 0, 255);
  int direccion_pwm = map(direccion, 0, 1023, 0, 180);

  // Asignar los valores PWM a los motores
  motor1.write(velocidad_pwm);
  motor2.write(direccion_pwm);

  // Esperar un corto periodo de tiempo
  delay(10);
}
```

Fuente:(Propia de autor, 2023)

8.4.4. ELABORACIÓN DE MODULO ELÉCTRICO.

En esta etapa, se llevó a cabo la instalación eléctrica del robot siguiendo el esquemático previamente creado. Se conectaron los componentes eléctricos, como los motores, los reguladores de voltaje, las placas de control de los brushless, las baterías y el microcontrolador Arduino según las indicaciones del esquemático para garantizar el correcto funcionamiento del robot.

Es importante mencionar que se tomaron todas las precauciones necesarias durante la instalación eléctrica, como la correcta polaridad de los componentes y el aislamiento adecuado de los cables eléctricos, para evitar cortocircuitos o daños en los componentes.

8.4.5. ENSAMBLE DEL ROBOT.

En esta etapa, se llevó a cabo el ensamble del prototipo del robot. Se unieron los motores a las turbinas, como se muestra en la figura 95, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de propulsión del robot. Los tapones de los cascos también se acoplaron y se limaron para que quedaran planos, como se muestra en la figura 96, a fin de que se ajusten perfectamente y se evite cualquier tipo de fuga de agua.

Figura 95. unión de motor & turbina.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 96. Proceso de limado y acople de tapones en cascos.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Luego, se procedió a ensamblar los servomotores en los brazos del módulo de recolección, como se muestra en la figura 97, para permitir la manipulación de la cesta de recolección. Los servomotores permitirán el movimiento de los brazos para recoger y depositar objetos en la cesta.

Figura 97. Ensamble de servomotores.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Finalmente, se adaptaron las diversas piezas y acoples según lo indicado en el diseño previamente realizado.

8.4.6. APLICACIÓN DE RESINAS Y SELLOS ANTI FILTRACIÓN.

En esta etapa, se aplicó soldadura en frío para sellar las posibles fugas en los cascos del robot submarino. Esta soldadura se aplicó en las juntas y piezas que componen el casco, como se muestra en la figura 98, con el fin de evitar cualquier tipo de fuga de agua durante las pruebas de funcionamiento del robot.

La soldadura en frío es una técnica que se utiliza para unir materiales mediante la aplicación de un adhesivo epoxi. Esta técnica es muy efectiva para sellar juntas y fisuras en los cascos de los robots submarinos, ya que es resistente al agua y a la corrosión.

Figura 98. Aplicación de soldadura en frío en tapón de casco.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

9. IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN.

En esta etapa del proyecto, se llevarán a cabo una serie de pruebas para validar el funcionamiento del robot, tanto en el medio acuático artificial como en el medio acuático real. El objetivo principal es verificar la capacidad del robot para desplazarse, flotar y recolectar plásticos.

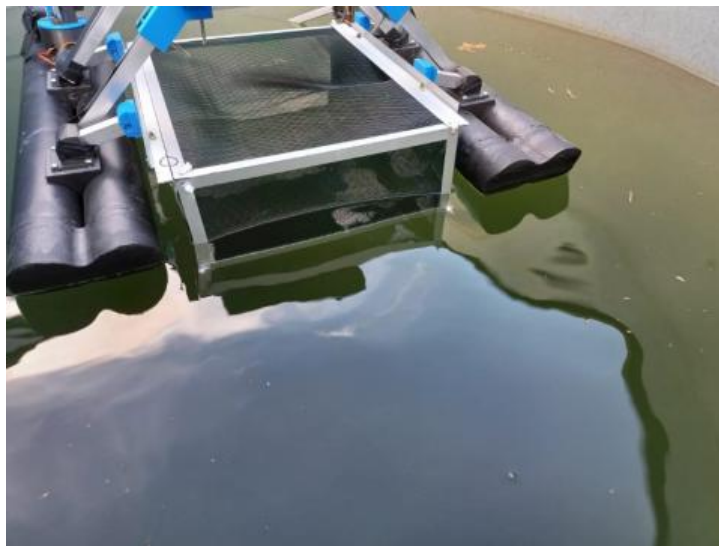
Estas pruebas tienen como objetivo principal obtener datos detallados sobre las características técnicas del robot, tales como su velocidad, capacidad de recolección y precisión en la navegación. Estas variables son fundamentales para evaluar su rendimiento. Para recopilar los datos obtenidos, se utilizó el instrumento de recolección de datos descrito en el Anexo 2.

Es importante destacar que estas pruebas se llevarán a cabo siguiendo los protocolos de seguridad establecidos para garantizar la integridad del robot y de los ambientes involucrados. Además, se utilizaron instrumentos de medición como decímetros, flexómetros, grameras y cronómetros para recopilar datos fiables y precisos sobre el desempeño del robot en diferentes escenarios acuáticos.

9.1. IMPLEMENTACIÓN EN FUENTE HÍDRICA ARTIFICIAL.

En esta etapa se implementó el robot en un tanque redondo que posee un área superficial de aproximadamente 1.1318 mts^2 , esta cuenta con una profundidad de 2.5 mts y es usado como recolector de agua de emergencia, la agua en este tanque no tiene residuos, ni sedimentos a simple vista. En la figura 99 se puede apreciar al robot en la fuente hídrica artificial.

Figura 99. Robot en fuente hídrica artificial.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

El robot demostró capacidad para moverse y flotar en el tanque, lo que permitió llevar a cabo las pruebas de funcionamiento según los indicadores establecidos. Debido a que el tanque tiene un área reducida, solo se realizaron 3 evaluaciones en este entorno.

9.1.1. EVALUACIÓN DE FUNCIONAMIENTO EN ENTORNO ARTIFICIAL.

9.1.1.1. EVALUACION DE VELOCIDAD EN ENTORNO ARTIFICIAL.

En esta etapa del proyecto, se llevó a cabo una evaluación de la velocidad del robot en el tanque. Para ello se creó una ficha de registro en la que se han establecido siete pruebas (ver Figura 100) y se han registrado los datos correspondientes. En cada prueba, se delimitó una distancia de 1 metro desde la orilla del tanque usando un flexómetro y se ha medido el tiempo que el robot tarda en llegar al metro con un cronometro.

Figura 100. robot recorriendo la distancia en tina.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Es importante mencionar que, para garantizar la igualdad en términos de energía, el robot se cargaba al 100% al finalizar cada prueba. Este proceso se llevó a cabo de manera rigurosa para garantizar la precisión y validez de los resultados obtenidos.

La fórmula utilizada para calcular la velocidad del robot en el medio acuático es la siguiente:

$$V=d/t. \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

V es igual velocidad (mts/s),

d es igual a distancia(mts),

t es igual a tiempo(seg).

Figura 101. Ficha de registro de pruebas de velocidad en tina.

Ficha de registro			
Investigador 1	Joan Alejandro Echeverria Moreno		
Investigador 2	Jeisson Steven Gaona Ladino		
Investigador 3			
Fecha	22/02/2023		
Indicador	Velocidad del robot		
Formula	$V = \frac{d}{t}$		
Lugar de la prueba	Entorno artificial hídrico (tina)		
Contenido			
ítem	Variable 1(d)	Variable 2 (t)	Resultado (v)
Prueba 1	1 metro	100 seg	0.01
Prueba 2	1 metro	96 seg	0.0104
Prueba 3	1 metro	108 seg	0.0093
Prueba 4	1 metro	92 seg	0.0109
Prueba 5	1 metro	102 seg	0.0098
Prueba 6	1 metro	101 seg	0.0099
Prueba 7	1 metro	104 seg	0.0096

Fuente:(Propia de autor, 2023)

9.1.1.2. EVALUACIÓN DE RECOLECCION EN INTERVALO DE TIEMPO.

En esta prueba se introdujeron aproximadamente 50 microplásticos (7 gramos) de manera aleatoria en la tina, los cuales tienen un tamaño menor a 7 mm. Se registro la cantidad de microplásticos recolectados en un período de 10 minutos, y se realizó la prueba en tres ocasiones para obtener un promedio de recolección. Al final de cada prueba, se volvió a introducir los microplásticos recolectados en la tina para repetir el proceso. Esta prueba fue fundamental para evaluar la capacidad de recolección del robot en un entorno controlado y determinar su eficacia en la limpieza de microplásticos.

En la figura 102 se puede ver la ficha de registro donde se guardaron los datos de las 3 pruebas realizadas y en la figura 104 se puede ver los plásticos almacenados en el módulo de recolección durante la prueba 3.

Figura 102. Ficha de registro de microplásticos recolectados en intervalo de tiempo.

Ficha de registro	
Investigador 1	Joan Alejandro Echeverria Moreno
Investigador 2	Jeisson Steven Gaona Ladino
Investigador 3	
Fecha	22/02/2023
Indicador	Cantidad de microplásticos recolectados por el robot en un período de tiempo determinado
Formula	No se dispone de formula, se contarán los microplásticos en cada intervalo de tiempo (10min)
Lugar de la prueba	Entorno artificial hídrico (tina)
Contenido	
Ítem	Cantidad de microplásticos
Prueba 1	38
Prueba 2	36
Prueba 3	42

Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 103. microplásticos almacenados en compartimiento.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Después de completar las tres pruebas, se retiraron los microplásticos de la tina utilizando una malla y también se realizaron extracciones manuales con las manos. Para facilitar su reconocimiento y extracción, los microplásticos fueron previamente pintados de color blanco, como se ilustra en la figura.

Figura 104. Microplásticos usados en la prueba.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

9.1.1.3. EVALUACIÓN DE RECOLECCION HASTA AGOTAR BATERIA.

En esta evaluación, se introdujeron 100 microplásticos (13 gramos) en el tanque y se recolectaron mediante el robot hasta que éste se quedó sin carga. Este proceso se repitió tres veces y se registraron los resultados obtenidos, los cuales se muestran en la figura 105. Al finalizar cada prueba, se volvieron a introducir los microplásticos recolectados.

Figura 105. Ficha de registro de microplásticos recolectados hasta agotar batería.

Ficha de registro		
Investigador 1	Joan Alejandro Echeverria Moreno	
Investigador 2	Jeisson Steven Gaona Ladino	
Investigador 3		
Fecha	22/02/2023	
Indicador	Cantidad de microplásticos removidos por el robot en comparación con la cantidad total de microplásticos en el cuerpo de agua.	
Formula	No se dispone de formula, se contarán los microplásticos al finalizar cada prueba.	
Lugar de la prueba	Entorno artificial hídrico (tina)	
Contenido		
Ítem	Duración de batería(min)	Cantidad de microplásticos recolectados
Prueba 1	12	60
Prueba 2	12.5	76
Prueba 3	12.2	43

Fuente:(Propia de autor, 2023)

9.1.2. CORRECCIONES PERTINENTES

Antes de llevar a cabo la evaluación de velocidad del robot en el medio acuático artificial, fue necesario realizar un sellamiento en el mismo. Se identificó que se estaba produciendo una filtración de agua en el casco izquierdo, lo que estaba afectando el equilibrio estático del robot y, por ende, su integridad.

Para resolver este problema, se procedió a realizar un sellamiento de emergencia en el casco izquierdo del robot, tal y como se puede apreciar en la Figura 106. Este proceso de sellamiento fue llevado a cabo con cinta aislante y cinta de teflón.

Figura 106. Corrección de filtración en casco izquierdo.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Con el objetivo de prevenir futuras filtraciones, se llevó a cabo una segunda aplicación de soldadura fría en las juntas que conforman los cascos del robot. De esta manera, se aseguró una mayor estabilidad y resistencia en la estructura, minimizando la posibilidad de que se produzcan fugas.

9.2. IMPLEMENTACIÓN EN FINCA SANTA TERESITA.

En esta etapa se implementó el robot de limpieza en la laguna ubicada en la finca Santa Teresita, la cual según la herramienta de Google Earth tiene un área superficial aproximada de 692mts² como se aprecia en la figura 107, por otro lado, la profundidad medida de la laguna fue de 3,5 metros aproximadamente. En este cuerpo de agua se pueden encontrar algunas plantas, principalmente en áreas cercanas a las orillas, así como sedimentos derivados de la arcilla y arenas presentes en el entorno. Además, se identificaron algunos animales en la laguna, incluyendo mosquitos, escarabajos acuáticos, libélulas, peces pequeños y renacuajos.

Figura 107. Área superficial de laguna.



Fuente:(Google, 2023)

La presencia de plantas en el agua es importante para el ecosistema ya que proporcionan refugio y alimento para muchos organismos acuáticos, por esta razón, fue importante minimizar la perturbación excesiva del hábitat natural, por lo tanto, las pruebas realizadas del robot acuático se ejecutaron en un área de la laguna donde se visualizó una menor concentración de vegetación como se observa en la figura 108.

Figura 108. Robot en laguna Santa Teresita.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

9.2.1. EVALUACIÓN DE FUNCIONAMIENTO EN LAGUNA.

Para las evaluaciones realizadas en la laguna, se decidió cambiar los microplásticos debido a su dificultad para ser recolectados manualmente en un ambiente con piso fangoso y vegetación. Además, dejar los microplásticos en el entorno podría generar contaminación a los seres vivos que habitan en la laguna. En su lugar, se utilizaron 30 tapas de envases, las cuales tiene un peso de 60 gramos como se muestra en la figura 109. Estas tapas son más grandes y fáciles de distinguir, lo que permite su recolección manual, también tienen el atributo de flotar en la superficie gracias a su densidad. Asimismo, las tapas de los envases son uno de los elementos más comunes en fuentes hídricas contaminadas.

Figura 109. Tapas plásticas usadas en las pruebas.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

9.2.1.1. EVALUACION DE VELOCIDAD EN LAGUNA.

En esta etapa del proyecto, se llevó a cabo una evaluación de la velocidad del robot en la laguna. Para ello, se ha creado una ficha de registro en la que se estableció cinco pruebas (ver Figura 110) y se registraron los datos correspondientes. En cada prueba, se delimitó una distancia de 1 metro desde la orilla de la laguna usando un flexómetro y se ha medido el tiempo que el robot tarda en llegar al metro con un cronómetro.

Es importante mencionar que, para garantizar la igualdad en términos de energía, el robot se cargaba al 100% al finalizar cada prueba. Este proceso se llevó a cabo de manera rigurosa para garantizar la precisión y validez de los resultados obtenidos.

La fórmula utilizada para calcular la velocidad del robot en el medio acuático es la ecuación 6, explicada anteriormente.

Figura 110. Ficha de registro de pruebas de velocidad en laguna.

Ficha de registro			
Investigador 1	Joan Alejandro Echeverria Moreno		
Investigador 2	Jeisson Steven Gaona Ladino		
Investigador 3			
Fecha	22/02/2023		
Indicador	Velocidad del robot		
Formula	$v = \frac{d}{t}$		
Lugar de la prueba	Entorno artificial hídrico (tina)		
Contenido			
Ítem	Variable 1(d)	Variable 2 (t)	Resultado (v)
Prueba 1	1 metro	156 seg	0.0064
Prueba 2	1 metro	149 seg	0.0067
Prueba 3	1 metro	143 seg	0.0070
Prueba 4	1 metro	132 seg	0.0076
Prueba 5	1 metro	145 seg	0.0069

Fuente:(Propia de autor, 2023)

9.2.1.2. EVALUACION DE MOVIMIENTO RECTILINEO UNIFORME.

En esta evaluación, se midió el tiempo que tarda el robot en recorrer una distancia de 3 metros (ver figura 111). El tiempo se tomó cada 50 centímetros y se realizaron tres mediciones con el cronometro, finalmente los datos obtenidos se registraron en la figura 112.

Cabe destacar que esta prueba se llevó únicamente en la laguna debido a que tiene una mayor área que la tina, lo que permitió realizar mediciones más extensas con el flexómetro.

Figura 111. Recorrido del robot en 3mts.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 112. Ficha de registro de pruebas de distancia recorrida vs tiempo.

Ficha de registro			
Investigador 1	Joan Alejandro Echeverria Moreno		
Investigador 2	Jeisson Steven Gaona Ladino		
Investigador 3			
Fecha	22/02/2023		
Indicador	Velocidad del robot durante su operación.		
Formula	Se calcula a partir de la grafica		
Lugar de la prueba	Laguna ubicada en finca Santa Teresita		
Contenido			
Distancia (cm)	Medición 1(seg)	Medición 2(seg)	Medición 3(seg)
50cm	72	78	75
100cm	159	148	152
150cm	223	232	235
200cm	308	315	311
250cm	395	388	396
300cm	465	458	451

Fuente:(Propia de autor, 2023)

9.2.1.3. EVALUACION DE DISTANCIA DE RADIO CONTROL DEL ROBOT.

Durante esta evaluación, se probó el alcance del radio control del robot. Para llevar a cabo esta prueba, se ajustó un decámetro al robot y se puso en marcha hasta que el receptor dejó de responder a las órdenes del transmisor (ver figura 113). La prueba se realizó a lo largo de la laguna, repitiéndose tres veces, y el operador (transmisor) se ubicó en diferentes ubicaciones.

Figura 113. Decámetro ajustado al robot.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Es importante mencionar que esta evaluación permitió determinar la distancia máxima a la que se puede controlar el robot mediante el radio control y, por lo tanto, conocer sus limitaciones en términos de alcance, en la figura 114 se ven los datos obtenidos.

Figura 114. Ficha de registro de pruebas de radiocontrol.

Ficha de registro		
Investigador 1	Joan Alejandro Echeverria Moreno	
Investigador 2	Jeisson Steven Gaona Ladino	
Investigador 3		
Fecha	22/02/2023	
Indicador	Precisión del control	
Formula	No se dispone de formula, se introducirá la distancia una vez el emisor no reciba órdenes.	
Lugar de la prueba	Laguna ubicada en finca Santa Teresita	
Contenido		
ítem	Distancia (mts)	Observaciones
Prueba 1	18mts	Ninguna
Prueba 2	8mts	Se detuvo por una planta
Prueba 3	19mts	Ninguna

Fuente:(Propia de autor, 2023)

9.2.1.4. EVALUACIÓN DE RECOLECCION EN INTERVALO DE TIEMPO EN LAGUNA.

En esta prueba se introdujeron aproximadamente 20 tapas (40 gramos) de manera aleatoria en una sección de la laguna como se observa en la figura 117, los cuales tienen un peso de 2.4 gr aproximadamente. Se registro la cantidad de tapas recolectadas en un período de 10 minutos, y se realizó la prueba en tres ocasiones para obtener un promedio de recolección. Al final de cada prueba, se volvió a introducir los plásticos recolectados en la laguna para repetir el proceso. Esta prueba fue fundamental para evaluar la capacidad de recolección del robot en un entorno controlado y determinar su eficacia en la limpieza de microplásticos.

En la figura 115 se puede ver la ficha de registro donde se guardaron los datos de las 3 pruebas realizadas y en la figura 116 se puede ver los plásticos almacenados en el módulo de recolección durante la prueba 3.

Figura 115. Ficha de registro de tapas recolectadas en intervalo de tiempo.

Ficha de registro	
Investigador 1	Joan Alejandro Echeverria Moreno
Investigador 2	Jeisson Steven Gaona Ladino
Investigador 3	
Fecha	22/02/2023
Indicador	Cantidad de tapas recolectados por el robot en un período de tiempo determinado
Formula	No se dispone de formula, se contarán las tapas en cada intervalo de tiempo (10min)
Lugar de la prueba	Entorno artificial hídrico (tina)
Contenido	
Ítem	Cantidad de Tapas
Prueba 1	19
Prueba 2	20
Prueba 3	19

Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 116. Tapas plásticas almacenados en compartimiento.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 117. Sección de laguna empleada en evaluación



Fuente:(Propia de autor, 2023)

9.2.1.5. EVALUACIÓN DE RECOLECCION HASTA AGOTAR BATERIA EN LAGUNA.

En esta prueba, se introdujeron 30 tapas (60 gramos) en la sección de la laguna previamente delimitada y se recogieron mediante el robot hasta que éste se quedó sin carga. Este proceso se repitió tres veces y se registraron los resultados obtenidos, los cuales se muestran en la figura 118. Al finalizar cada prueba, se volvió a introducir los microplásticos recolectados.

Figura 118. Ficha de registro de tapas recolectadas hasta agotar batería.

Ficha de registro		
Investigador 1	Joan Alejandro Echeverria Moreno	
Investigador 2	Jeisson Steven Gaona Ladino	
Investigador 3		
Fecha	22/02/2023	
Indicador	Cantidad de tapas removidas por el robot en comparación con la cantidad total de tapas en el cuerpo de agua.	
Formula	No se dispone de formula, se contarán los microplásticos al finalizar cada prueba.	
Lugar de la prueba	Entorno artificial hídrico (tina)	
Contenido		
Ítem	Duración de batería(min)	Cantidad de microplásticos recolectados
Prueba 1	13	28
Prueba 2	12.5	28
Prueba 3	12.2	29

Fuente:(Propia de autor, 2023)

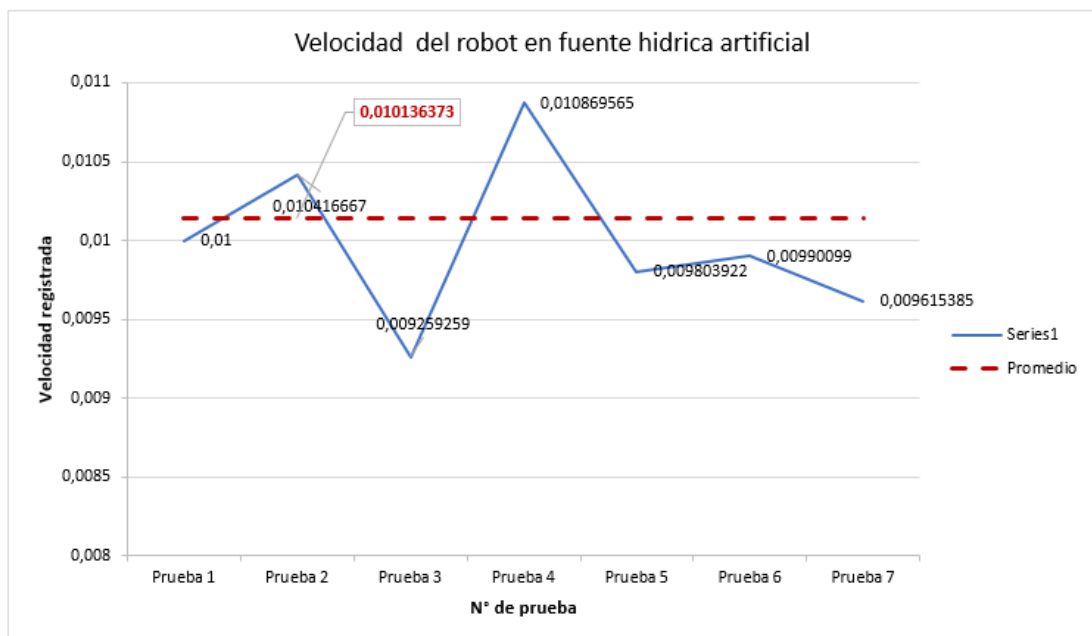
10. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

10.1. RESULTADOS.

10.1.1. RESULTADO VELOCIDAD ENTORNO ARTIFICIAL Y LAGUNA.

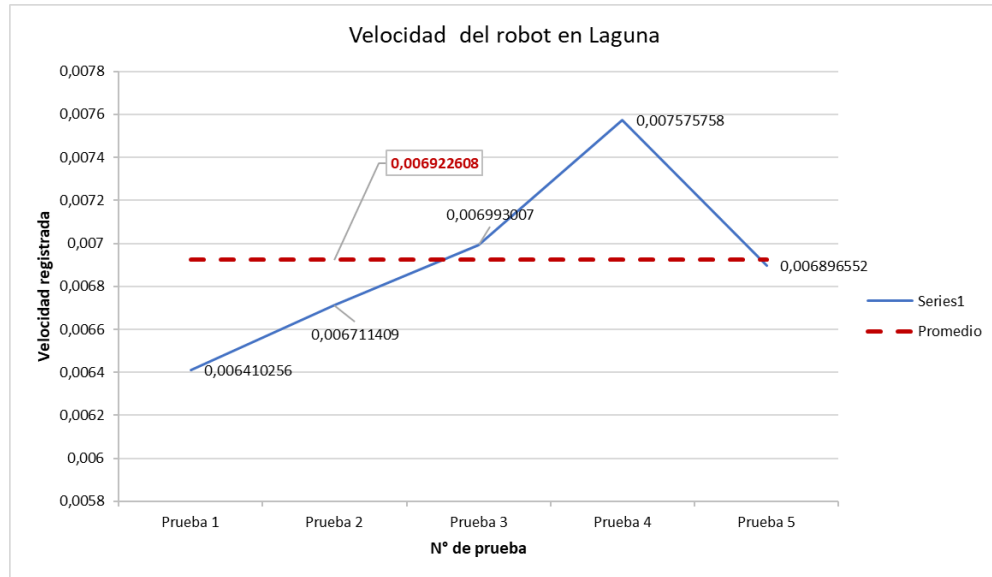
A continuación, se presentan dos gráficas, figura 119 y figura120, que muestran la relación entre las pruebas y las velocidades obtenidas tanto en el escenario hídrico artificial como en la laguna de la Finca Santa Teresita. Para ello, se utilizaron los datos de las fichas, y se generó una media de los datos para obtener el promedio de velocidad alcanzada en un metro en ambas zonas, cabe aclarar que antes de realizar las gráficas y cálculos se realizó la conversión de velocidad a mts/s con el fin de mantener estándares internacionales en la unidad de medida.

Figura 119. grafica de velocidad x prueba en entorno artificial.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 120. grafica de velocidad x prueba en Laguna.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

Según las gráficas, la velocidad promedio en fuente hídrica artificial fue de 0,010136373 mts/s y en la laguna santa teresita de 0,006922608 mts/s, se podría decir que la velocidad en la fuente hídrica artificial es mayor debido a las condiciones de pureza del agua, ya que no cuenta con sedimentos o plantas que puedan llegar a disminuir la velocidad de las turbinas. Finalmente, se calcula el promedio de las dos velocidades obtenidas para determinar la velocidad promedio general del robot, la cual se estima en 0.008522949 m/s.

10.1.2. RESULTADO RECOLECCION DE PLASTICOS EN INTERVALO DE TIEMPO EN ENTORNO ARTIFICIAL Y LAGUNA.

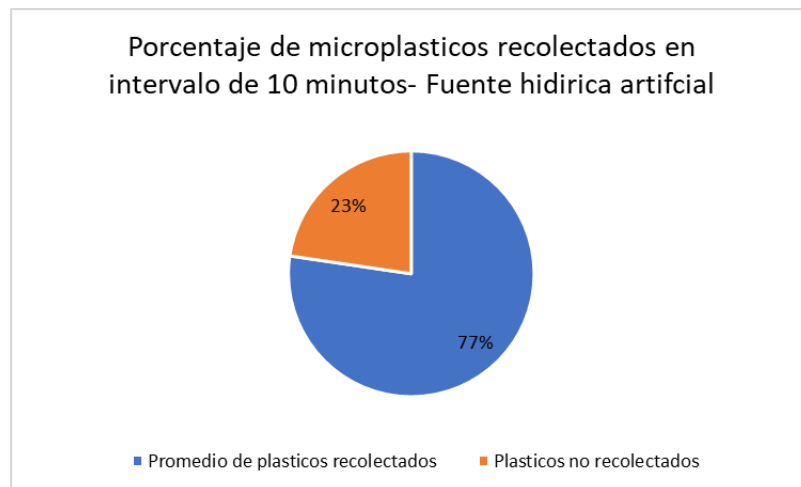
A continuación, se presenta una tabla (ver tabla 4) que muestra el porcentaje de recolección de microplásticos en cada prueba en relación al total de microplásticos presentes (50 microplásticos) en el tanque. También se incluye una gráfica (ver figura 121) que muestra el promedio de microplásticos recolectados en comparación con el total.

Tabla 4. Porcentaje de recolección en intervalo de tiempo en fuente hídrica artificial.

Prueba	Cantidad de micro plásticos recolectados	Porcentaje
Prueba 1	38	76%
Prueba 2	36	72%
Prueba 3	42	84%

Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 121. Promedio recolección vs total en fuente hídrica artificial en intervalo de tiempo.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

El promedio de microplásticos recolectados en comparación con el total de microplásticos presentes fue del 77% lo que equivale a 4.3 gramos. Se observa que la prueba 3 tuvo el mayor porcentaje de recolección, seguida de la prueba 1 y finalmente prueba 2, que tuvo el menor porcentaje de recolección.

Es importante destacar que los resultados de estas pruebas son específicos para las condiciones y el método utilizado en este estudio, y pueden variar en diferentes situaciones y entornos.

En la tabla 5 se muestra el porcentaje de recolección de tapas en cada prueba en relación al total de tapas presentes (20 tapas) en la sección de la laguna. También se incluye una gráfica (ver Figura 122) que muestra el promedio de tapas recolectadas en comparación con el total.

Tabla 5. Porcentaje de recolección en intervalo de tiempo en sección de laguna.

Prueba	Cantidad de tapas plásticas recolectadas	Porcentaje
Prueba 1	19	95%
Prueba 2	20	100%
Prueba 3	19	95%

Fuente:(Propia de autor, 2023)

Figura 122. Promedio recolección vs total en laguna.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

El promedio de las tapas recolectadas es del 97%, lo que equivale a 38.5 gramos aproximadamente.

10.1.3. RESULTADO RECOLECCION HASTA AGOTAR BATERIA EN ENTORNO ARTIFICIAL Y LAGUNA.

A continuación, se presenta una tabla (ver Tabla 6) que muestra el porcentaje de recolección de microplásticos en cada prueba en relación al tiempo total de duración de batería del robot. También se incluye una gráfica (Figura 123) que muestra el promedio de microplásticos recolectados en comparación con el total.

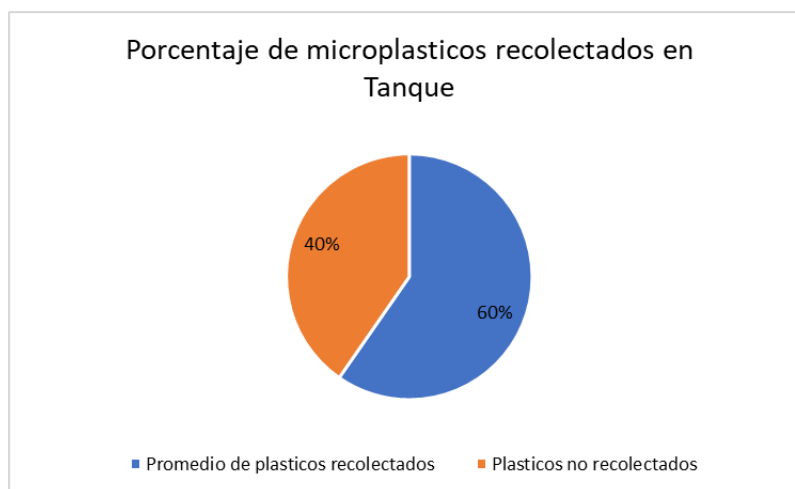
Tabla 6. Porcentaje de recolección de microplásticos en fuente hídrica artificial

Prueba	Tiempo de duración de batería (minutos)	Cantidad de microplásticos recolectadas	Porcentaje
Prueba 1	12	60	60%
Prueba 2	12.5	76	76%
Prueba 3	12.2	43	43%

Fuente:(Propia de autor, 2023)

A partir de la tabla se observa que la prueba 3 tuvo el menor porcentaje de recolección, seguida de la prueba 1, y finalmente prueba 2, que tuvo el mayor porcentaje de recolección.

Figura 123. Promedio de recolección vs total de microplásticos presentes en la fuente hídrica artificial.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

El promedio de los microplásticos recolectados es del 60%, lo que equivale a 4.9 gramos aproximadamente.

Se presenta la tabla 7 que muestra el porcentaje de recolección de las tapas en cada prueba realizada en la laguna en relación al tiempo total de duración de batería del robot. También se incluye una gráfica (ver figura 124) que muestra el promedio de las tapas plásticas recolectadas en comparación con el total.

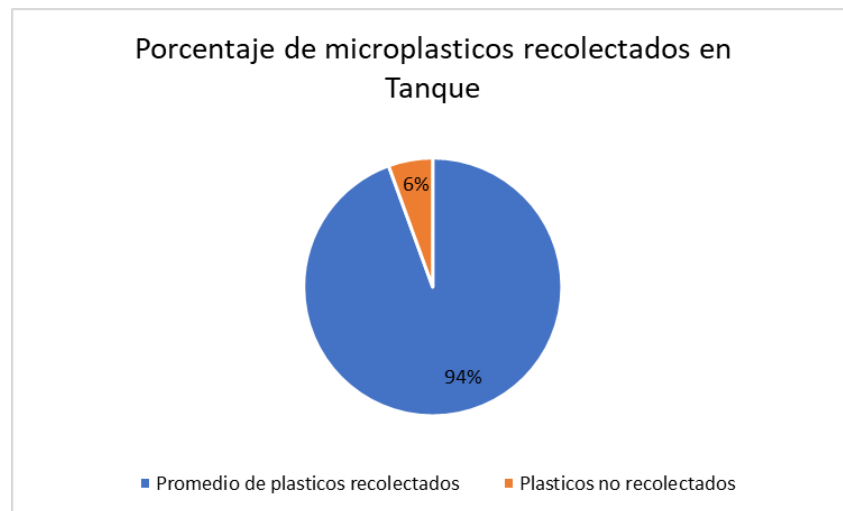
Tabla 7. Porcentaje de recolección en sección de la laguna

Prueba	Tiempo de duración de batería (minutos)	Cantidad de tapas plásticas recolectadas	Porcentaje
Prueba 1	13	28	93%
Prueba 2	12.5	28	93%
Prueba 3	12.2	29	96%

Fuente:(Propia de autor, 2023)

A partir de la tabla 7 se observa que la prueba 3 tuvo el mayor porcentaje de recolección, y las otras pruebas obtuvieron el mismo porcentaje

Figura 124. Promedio de recolección vs total de tapas presentes en la laguna.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

El promedio de las tapas plásticas recolectadas es del 96%, lo que equivale a 57,2 gramos aproximadamente.

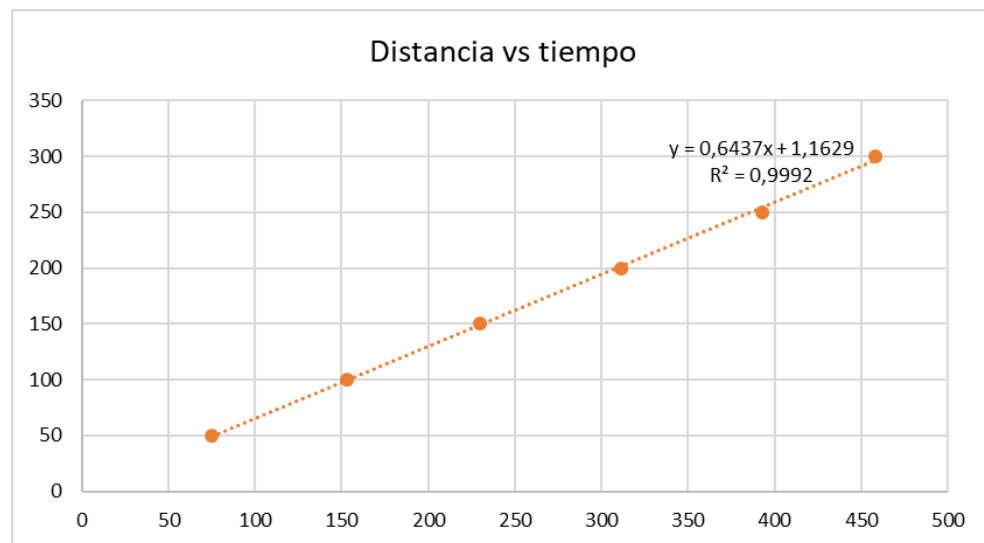
10.1.4. RESULTADO DE MOVIMIENTO RECTILINEO UNIFORME.

A partir de la ficha de registro de datos (ver figura 112), se realizó la gráfica (ver figura 125) que muestra la distancia recorrida por un robot en función del tiempo transcurrido. En este caso, se utilizó un promedio de los tiempos registrados para cada distancia recorrida.

A partir de la gráfica, se concluyó que la ecuación que representa la velocidad constante del robot es $v = 0,6437t + 1,1629$, donde v representa la velocidad del robot en función del tiempo transcurrido t . Esta ecuación nos permite calcular la velocidad del robot en cualquier instante de tiempo.

Además, se utilizó el coeficiente de determinación para evaluar la precisión de la ecuación encontrada. El coeficiente de determinación es una medida estadística que proporciona un porcentaje de certeza de la fórmula encontrada. En este caso, el coeficiente de determinación fue del 99%, lo que indica que la ecuación $v = 0,6437t + 1,1629$ es una buena aproximación para la velocidad constante del robot en función del tiempo.

Figura 125. Distancia vs tiempo del robot en laguna.



Fuente:(Propia de autor, 2023)

10.1.5. RESULTADOS DISTANCIA DE RADIO CONTROL DEL ROBOT.

Tras analizar la ficha de registro (ver figura 114), se ha concluido que el robot puede ser controlado hasta una distancia máxima de 19 metros. Sin embargo, se ha determinado que es esencial disminuir esta distancia para lograr un control más efectivo del robot. Se recomienda que se evalúen distintas distancias y se seleccione la que permita un control más preciso y seguro del robot.

Cabe destacar que, a pesar de la presencia de árboles y otros obstáculos en la

laguna, no se han encontrado interferencias en la señal del transmisor o receptor del robot. Es importante destacar esto, ya que asegura que el control del robot no se verá afectado por la presencia de obstáculos naturales en el ambiente de la laguna.

Sin embargo, existe vegetación que puede obstaculizar la movilidad del robot y provocar que quede atascado

10.1.6. RESULTADOS DE RESISTENCIA AL AVANCE DEL ROBOT.

Para calcular la resistencia al avance del robot, se utiliza la velocidad obtenida en m/s y se completa la ecuación 4 previamente planteada:

$$R = (997 \text{ kg/m}^3 * 0.005994 \text{ m}^2 * 0.8 * v^2) / 2$$

Donde v es la velocidad.

Por lo tanto, la resistencia al avance del robot es de aproximadamente 0.00121861 N a una velocidad de 0.008522949 m/s.

10.2. CONCLUSIONES.

10.2.1. PRIMERA CONCLUSIÓN.

Después de llevar a cabo las pruebas de recolección de tapas de plástico en la laguna, se han obtenido conclusiones importantes acerca de la eficiencia del robot en comparación con el método manual. Se ha comprobado que el robot es más eficiente en lugares con profundidades mayores a 2 metros y con un piso fangoso, ya que se desplaza fácilmente en estas zonas sin verse afectado por el hundimiento en el lodo. Por otro lado, el método manual empleado por el operario es más efectivo en zonas cercanas a la orilla, donde el robot tiene dificultades para acceder debido a la vegetación.

En conclusión, estos resultados sugieren que el uso del robot recolector de microplásticos puede ser una opción viable en lugares específicos donde el método manual presenta limitaciones, mientras que en otros lugares se puede seguir utilizando el método manual de recolección.

10.2.2. SEGUNDA CONCLUSIÓN.

La habilidad del operario manejando el control rf y la velocidad son factores críticos que afectan la eficiencia de recolección de microplásticos por parte del robot. Se observó que la recolección de microplásticos en algunas pruebas se vio significativamente afectada cuando el operario no trazó líneas de desplazamiento y no cercó adecuadamente las zonas a recolectar. Por otro lado, la velocidad de desplazamiento también juega un papel importante en la recolección de microplásticos, ya que si se va muy rápido algunos microplásticos pueden desplazarse a los costados y escapar de la trayectoria del robot. En general, se recomienda que el operario tenga una habilidad adecuada para realizar la recolección y que el robot se desplace a una velocidad media para maximizar la eficiencia de recolección de microplásticos, además se podrían generar módulos adyacentes que ayuden a disminuir este problema.

10.2.3. TERCERA CONCLUSIÓN.

Los resultados de los porcentajes de recolección indican que el robot es efectivo en la recolección de microplásticos y pequeños plásticos, como las tapas, lo que confirma la hipótesis general planteada. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en el estudio no se implementaron microplásticos en la laguna, y la fuente hídrica artificial tenía una superficie pequeña, lo que puede haber influido en los resultados. Por lo tanto, se puede afirmar que la hipótesis general se aplica al contexto de pequeños plásticos, como las tapas

10.2.4. CUARTA CONCLUSIÓN.

La hipótesis específica 1 se confirma, ya que el diseño catamarán implementado en el robot tuvo un efecto positivo en su desplazamiento, proporcionando estabilidad y movimiento efectivo para recolectar residuos plásticos. Asimismo, la hipótesis específica 3 también se confirma, ya que se logró recolectar un mayor porcentaje de plásticos en la laguna en comparación con la fuente hídrica artificial, cuyo tamaño limitado afectó la recolección de residuos. En cuanto a la hipótesis específica 2, es necesario realizar pruebas en diversas fuentes de agua para confirmar su validez.

10.3. RECOMENDACIONES.

A partir del producto de los análisis realizados se recomienda aumentar la capacidad de la batería del robot recolector de microplásticos, ya que la duración actual de la batería es de aproximadamente 13 minutos. Al incrementar la capacidad de la batería, se podría prolongar el tiempo de operación del robot, lo que permitiría recolectar una mayor cantidad de plásticos en cada sesión.

Además, se sugiere realizar pruebas en distintos tipos de lagunas o lagos que posean características ecológicas diferentes, para obtener un modelo más completo y efectivo del robot recolector de plásticos. De esta forma, se podrían evaluar los resultados en diferentes ambientes y adaptar el diseño del robot a distintas situaciones ambientales, mejorando así su capacidad de recolección de plásticos.

Para trabajos futuros se considera fundamental el diseño previamente realizado, que se basa en el modelo de catamarán, el cual proporciona estabilidad en medios acuáticos. Para ampliar las capacidades del robot, se podrían agregar nuevos módulos y piezas que permitan su uso en ambientes de mayor oleaje, como el mar. Para ello, sería necesario realizar nuevos cálculos y simulaciones de elementos finitos, además de implementar materiales capaces de resistir la corrosión causada por los agentes presentes en el mencionado entorno.

Además, se podría incorporar sensores o cámaras que permitan la integración de inteligencia artificial, con el fin de automatizar la limpieza del medio, tal como lo hace el robot WasteShark, presentado en el estado del arte. También se podrían implementar nuevos módulos que incorporen cuchillas u otros elementos que permitan al robot desplazarse eficazmente en zonas de alta vegetación acuática, como pantanos e inclusive manglares, lo que permitiría una limpieza en estos entornos de difícil acceso.

11. RECURSOS DISPONIBLES.

En la Tabla 8 se presentó una evaluación detallada de los recursos humanos, materiales y financieros que se estimaron serían necesarios para el éxito del proyecto. Esta estimación fue realizada cuidadosamente considerando todos los aspectos relevantes y se basó en las mejores prácticas al igual que en la experiencia previa en proyectos similares. Es importante destacar que esta estimación puede ser revisada y actualizada a medida que se progrese en el desarrollo del proyecto y se conozcan con más precisión las necesidades específicas.

Tabla 8. Recursos para el desarrollo del proyecto.

Cantidad	Rubro	Detalle	Unidad	Valor	Valor Total
2	Personal	Estudiante investigador	Hora	Obliga	Obliga
1	Personal	Director de proyecto	Hora	Obliga	Obliga
-	Software	Fusion 360	Unidad	Obliga	Obliga
2	Insumo	Bateria lipo 1400 mAh 11.30v 3S	Unidad	\$ 238.000	\$ 476.000
6	Insumo	Filamento PLA para impresión 3d	Unidad	\$ 75.000	\$ 450.000
1	Insumo	Radio Control Flysky Fs-i6x 10 Canales, Receptor Y Cable Sim	Unidad	\$ 399.450	\$ 399.450
2	Insumo	Bateria lipo 1200 mAh 11.30v 3S	Unidad	\$ 198.500	\$ 397.000
1	Insumo	Hélice de motor sin escobillas de propulsor subacuático X2	Unidad	\$ 312.200	\$ 312.200
4	Insumo	Servomotor Mg995 - Servo Arduino-Tower Pro	Unidad	\$ 40.000	\$ 160.000
3	Insumo	Malla de monofilamento de polietileno	mts	\$ 34.000	\$ 102.000
3	Insumo	Ángulo Aluminio 20x20mm 2m	Unidad	\$ 32.900	\$ 98.700
1	Insumo	LAMINA ACERO INOXIDABLE 2x2 metros 1.5mm	Unidad	\$ 80.000	\$ 80.000
2	Insumo	ESC 30A Controlador de Motor brushless	Unidad	\$ 37.200	\$ 74.400
5	Insumo	Topex Sold Epóxica Ultra Fuerte Blister X 22 Gramos	Unidad	\$ 12.900	\$ 64.500
1	Insumo	Pegamento Impermeabilizante Fs 6 Oz	Unidad	\$ 54.000	\$ 54.000
3	Insumo	Laca Negro Mate 300 mililitros	Unidad	\$ 15.900	\$ 47.700
1	Insumo	Tornillería	Unidad	\$ 45.000	\$ 45.000
3	Insumo	Tubo Sanitario 3" x 1M	mts	\$ 14.500	\$ 43.500
1	Insumo	Aerosol Anticorrosivo Negro Mate 355ml	Unidad	\$ 34.900	\$ 34.900
1	Insumo	Arduino Nano Atmega Mini Usb V3.0 Ch340 Nano3	Unidad	\$ 29.500	\$ 29.500
2	Insumo	Tubo Rectangular 30 x 20 x 1 mm	mts	\$ 13.500	\$ 27.000
2	Insumo	Malla plastica	mts	\$ 13.500	\$ 27.000
1	Insumo	Lamina De Acrílico Transparente - 50cm X 80cm X 2mm	Unidad	\$ 25.000	\$ 25.000
10	Insumo	CABLE 2 HILOS ROJO Y NEGRO 0,75MM	mts	\$ 2.100	\$ 21.000
2	Insumo	Modulo Regulador Lm2596 Conversor Dc-dc Arduino	Unidad	\$ 10.000	\$ 20.000
1	Insumo	Componentes electrónicos	Unidad	\$ 15.000	\$ 15.000
1	Insumo	Silicona	Unidad	\$ 12.000	\$ 12.000
1	Insumo	Tubo Rectangular 20 x 20 x 1 mm	mts	\$ 11.500	\$ 11.500
2	Insumo	Buzzer Zumbador Alarma Timbre 5v 12mm Para Arduino	Unidad	\$ 4.500	\$ 9.000
50	Insumo	Abrazaderas	Unidad	\$ 150	\$ 7.500
1	Insumo	Baquela PCB 15 cm x 15 cm Capa Sencilla	Unidad	\$ 3.500	\$ 3.500
1	Insumo	Cloruro Férrico	Unidad	\$ 3.000	\$ 3.000
	Equipos de Laboratorio	Uso	Multímetro	Obliga	Obliga
4	Transportes	Uso	Hogar-Finca Teresita	\$ 15.000	\$ 60.000
SUBTOTAL					\$ 3.110.350
Imprevistos (10% subtotal)					\$ 311.035
TOTAL					\$ 3.421.385

Fuente:(Propia de autor, 2023)

12. CRONOGRAMA.

Para el desarrollo del proyecto se creó un diagrama de Gantt (ver figura 126). Este diagrama ofrece una representación gráfica de las actividades clave y los plazos estimados para su realización.

Figura 126. Cronograma de actividades.

Actividad	Tiempo																			
	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5			
Etapa 1: Análisis de requerimientos																				
Identificación & revisión de los requerimientos	■	■																		
Etapa 2: Revisión bibliográfica																				
Recopilación de fuentes bibliográficas relacionadas al diseño y construcción de prototipos mecatronicos enfocados en la limpieza acuatica.			■	■	■	■	■													
Estudio de calculos matematicos relacionados a vehiculos marinos.			■	■	■															
Estudio de leyes en Colombia dedicadas a la limpieza de zonas hidricas.						■														
Etapa 3: Desarrollo																				
Analisis de los requerimientos del sistema.						■	■													
Diseño de sistema mecanico.								■	■	■	■									
Diseño de sistema electronico de control y comunicación.										■	■	■								
Simulacion FEA del diseño de prototipo desarrollado.													■	■						
Elaboración fisica del prototipo.															■	■	■	■		
Etapa 4: Implementación & evaluación.																				
Implementación del prototipo en fuente hidrica artificial																			■	
Correcciones pertinentes																			■	
Implementación del prototipo en laguna de Finca Santa Teresita.																				■
Correcciones pertinentes																				■
Documentación de las etapas 3 y 4, del desarrollo ingeril, resultados y conclusiones.																				■

Fuente:(Propia de autor, 2023)

El proyecto tiene una duración prevista de 5 meses, divididos en cuatro etapas claramente definidas en el diseño metodológico. La primera etapa, análisis de requerimientos, se llevará a cabo durante 2 semanas y consistirá en la definición de objetivos y tareas clave, así como en la identificación de los requisitos técnicos, financieros y legales necesarios para llevar a cabo el proyecto.

En la segunda etapa, revisión de bibliografía, que durará 5 semanas, se llevará a

cabo un estudio detallado de los cálculos de flotabilidad y leyes relacionadas con el marco legal del proyecto en Colombia, así como la recopilación de toda la información relevante necesaria para el desarrollo del prototipo.

La tercera etapa, desarrollo, será la más extensa con una duración de 11 semanas, en la que se llevará a cabo la simulación, impresión de piezas 3D, creación de circuitos y ensamblaje del prototipo, aplicación de resinas y aislamientos, entre otros aspectos clave del proyecto.

Finalmente, en la última etapa de evaluación e implementación, se dedicarán 3 semanas para la realización de pruebas en entornos hídricos con el fin de obtener resultados y conclusiones detalladas sobre el desempeño al igual que la efectividad del prototipo.

13. BIBLIOGRAFÍA.

- Alcaldía de Guatavita. (2020). Plan de Desarrollo 2020 - 2023 Guatavita.
<https://guatavita.101tramites.com/Normatividad/Normatividad/Plan%20de%20Desarrollo%20Guatavita%202020%20-%202023.pdf>
- Almarza, O. (2022, January 26). Seasam, el dron acuático pensado para los amantes del buceo. Urban Tecno.
<https://www.mundodeportivo.com/urbantecno/movilidad-urbana/seasam-dron-acuatico-buceo>
- Anet3d.com. (s.f). Anet3d.com. Recuperado el 10 de febrero de 2023, de
<https://anet3d.com/pages/a8-v2>
- Ansoategui Belategui, I. (2017, Mayo). Análisis Mecatrónico de Accionamiento de Maquinas Herramienta Teniendo en Cuenta la Flexibilidad de las Estructuras. Tesis Doctoral. País Vasco: Universidad Euskal Herriko Unibertsitatea. Obtenido de <https://1library.co/document/yd9gxolz-analisis-mecatronico-accionamientos-maquinas-herramienta-cuenta-flexibilidad-estructura.html>
- Arias Gonzáles, J. L. (2020). Técnicas e instrumentos de investigación científica.
- Arriaza, J., Sandoval, G., Cortes, E., & Pozo, K. (2019). Un Mar de Microplásticos en Chile: Propuestas para minimizar sus efectos en Salud y el Medioambiente. Universidad San Sebastian Facultad de Ingenieria y Tecnologia: <https://fit.uss.cl/proyectos/proyecto-8>.
- BBC News Mundo. (2017, 11 diciembre). 5 gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta.
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901>

- Bowen, A. D., Yoerger, D. R., Taylor, C., McCabe, R., Howland, J., Gomez-Ibanez, D., Kinsey, J. C., Heintz, M., McDonald, G., Peters, D. B., Fletcher, B., Young, C., Buescher, J., Whitcomb, L. L., Martin, S. C., Webster, S. E., & Jakuba, M. V. (2008). The Nereus hybrid underwater robotic vehicle for global ocean science operations to 11,000m depth. OCEANS 2008, 1–10.
- Carrasco Diaz, S. (2019). METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA. Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación, 19, 476. SAN MARCOS E I R. Obtenido de http://www.sancristoballibros.com/libro/metodologia-de-la-investigacion-cientifica_45761
- Cortes, J. J. M., Vallejo, N. V. C., Pinza, A. H., & Tulcán, N. O. (2022). Importancia de páramos y frailejones. Boletín Informativo CEI, 9(1), 125-127.
- Chaves Montero, A. (2018). La utilización de una metodología mixta en investigación social. UTMACH.
- Chávez, R., & Isaac, J. L. (2018). Diseño de plataforma de acople y miniROV para vehículos marinos de superficie [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9931>
- Crowe, S. (2018, April 10). Aquabotix SwarmDiver: a micro drone for ocean swarming. The Robot Report. <https://www.therobotreport.com/aquabotix-swarmdiver-ocean-swarming/>
- Cuesta López, L. F., & Lema Calidonio, J. D. (2009). «CGMED»: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA PARA DETERMINAR POSICIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD EN BIPEDESTACIÓN. Revista Ingeniería Biomédica.
- Decreto 2183 de 2017 - Gestor Normativo. (s.f.). Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=84947>

Dorotea Mekaniska AB. (2019, septiembre 3). Truxor amphibious machine.

Dorotea Mekaniska AB. <https://doroteamekaniska.se/en/truxor-2/>

DRONE SOLUTION SERVICES PTE. LTD. (s.f.). Wasteshark. Drone Solutions.

Retrieved January 23, 2023, from

<https://dronesolutionservices.com/wasteshark>

Editorial La República S.A.S. (2022, 24 febrero). Hoy en día se produce el doble de desechos plásticos en el mundo que hace 20 años. Diario La República.

<https://www.larepublica.co/globoeconomia/hoy-en-dia-se-produce-el-doble-de-desechos-plasticos-en-el-mundo-que-hace-20-anos-3310507>

El clima y el tiempo promedio en todo el año en Guatavita. (s/f).

Weatherspark.com. Recuperado el 30 de enero de 2023, de

<https://es.weatherspark.com/y/24287/Clima-promedio-en-Guatavita-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Fornari, D. J., Ryan, W. B. F., & Fox, P. J. (1983). Sea MARC 1 side-scan sonar imaging near the East Pacific Rise. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 64(31), 482-482.

<https://doi.org/10.1029/EO064i031p00482-01>

González, J., & Lacalle, A. (2020, March 1). Manual del Patrón de Yate. UT 1. 1. Seguridad en la mar. Estabilidad. Navegantes Oceánicos.

<https://navegantesoceanicos.com/manual-del-patron-de-yate-ut-1-1-seguridad-en-la-mar-estabilidad/>

Google Maps. (2022). Google Maps. Obtenido de

<https://www.google.com/maps/?hl=es>

Google. (2023). Google Earth [Versión 7.3.4.8248]. Disponible en

<https://www.google.com/earth/>

- Guo Bolin, Shen Jiangli, Feng Fangzhou, Qu Xiaolei, Xu Shengnan, & Xia Zhengyu. (2008). Water surface solid rubbish cleaning vessel (Patent Núm. CN:201158816:Y). En Patent (CN:201158816:Y).
- Hernández-Ayala, H., & Tobón-Tobón, S. (2016). Análisis documental del proceso de inclusión en la educación. *Ra Ximhai*, 12(6), 399-420.
- Jonathan Ruiz de Garibay Pascual. Robótica: Estado del arte. Universidad de Deuston. Número. Fecha, page 54, 2006.
- Lagos, A. M., Colorado, A., Giraldo, D., Fragozo, L., León, M. V., Berbén, A., ... & Quiroga, S. (2019). BASURA MARINA: UNA RESPONSABILIDAD DE TODOS.
- Lavars, N. (2020, October 7). "Squidbot" propels itself with jets of water just like the real thing. *New Atlas*. <https://newatlas.com/robotics/squidbot-robot-jets-water/>
- Ley 99 de 1993 - Gestor Normativo. (s.f.). Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>
- Liang Huajin, Guan Yisheng", & Zhang Xianmin. (2013). Water surface garbage cleaning ship (Patent Núm. CN:102020004:B). En Patent (CN:102020004:B).
- Meza, A., & Forero, D. (2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT ACUÁTICO [UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA]. <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002151.pdf>
- Monroy, J. (2016). Diseño, modelado y control de robots micro AUV [CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL].

<https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/2186/SSIT0013982.pdf?sequence=1>

- Moreno, H. A., Saltarén, R., Puglisi, L., Carrera, I., Cárdenas, P., & Álvarez, C. (2014). Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 11(1), 3–19. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2013.11.001>
- Municipio de Guatavita. (s/f). Gov.Co. Recuperado el 30 de enero de 2023, de <https://mapas.cundinamarca.gov.co/documents/municipio-de-guatavita/explore>
- Navarrete Vásquez, M. A. (2018). Uso de tecnologías 3d en el diseño y fabricación de prototipos (Doctoral dissertation, Universidad de Talca. Facultad de Ingeniería).
- Nieto, N. E. (2018). TIPOS DE INVESTIGACIÓN [Universidad Santo Domingo de Guzmán]. <http://repositorio.usdg.edu.pe/handle/USDG/34>
- Nouri, J. M. (2018). Prediction of wave resistance for high-speed planing hulls using a CFD-based approach. *Ocean Engineering*, 150, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.12.040>
- Oceanographic Systems Lab. (s.f.). REMUS 6000. Woods Hole Oceanographic Institution. Retrieved January 27, 2023, from <https://www2.whoi.edu/site/osl/vehicles/remus-6000/>
- Okpo 6000 - auvac. (2020, July 21). AUVAC: Strengthening the AUV Community. https://auvac.org/18_from_search_1-2/
- Omnipresent Robot Tech. (s.f). RO-BOAT: REJUVINATING OUR WATER BODIES. Omnipresent Robot Tech. Recuperado el 23 de enero de 2023, de <http://www.omnipresenttech.com/cleaningsolutions.php>

- ORARBO. (s/f). Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá. Gov.co. Recuperado el 30 de enero de 2023, de <https://orarbo.gov.co/es/el-observatorio-y-los-municipios/informacion-general-municipio?cd=8dc0c6c3762a43d3ba3067a3330bd819>
- Padial, J. (2013, June 1). ¿Por qué flotan los barcos? Curiosoando. <https://curiosoando.com/por-que-flotan-los-barcos>
- Parada, J. (2010). Algunos elementos clave en el origen de los accidentes marítimos y en la gestión de emergencias en los buques de pesca. <http://www.aecidcf.org.co/documentos/MI%2016.582%20Parada,%20Jorge.%20Accidentes%20maritimos.PDF>
- Roa, M. M. (2021, 2 julio). No solo los océanos están llenos de plástico. Statista Infografías. <https://es.statista.com/grafico/17664/articulos-de-plastico-mas-numerosos-en-ecosistemas-de-agua-dulce-en-europa/>
- Salinas, S., & Fuentes, J. (2020). Diseño de equipo para recolección de residuos plásticos en aguas oceánicas [Universidad central del ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22445>
- Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION. Quinta. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- Tamargo García, A., Molinero, N., Jiménez Arroyo, C., Jiménez Reinoso, J., Alcolea-Rodríguez, V., Portela, R., ... & Moreno-Arribas, M. (2022). Microplásticos y microbiota. Impacto de la ingesta de diferentes tipos de microplásticos sobre la microbiota colónica humana.

The Seabin V5 – The Seabin Project—For Cleaner Oceans. (s. f.). Seabin.

Recuperado 31 de julio de 2021, de <https://seabinproject.com/the-seabin-v5/>

UNEP. (2021, 21 octubre). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. UNEP - UN Environment Programme.

<https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>

Useche, M. C., Artigas, W., Queipo, B., & Perozo, E. (2019). Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos.

Valencia Ramírez, M. (2022, 13 junio). Evaluación de la presencia de microplásticos en el Lago de Chapala.

<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/30462>

Valerio Mena, L. J., & Rodríguez Castillo, C. A. (2000). ESTABILIDAD TRANSVERSAL DE BUQUES PESQUEROS CON TRIMADO LIBRE. Revista TECNIA, 10(2).

<http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/461>

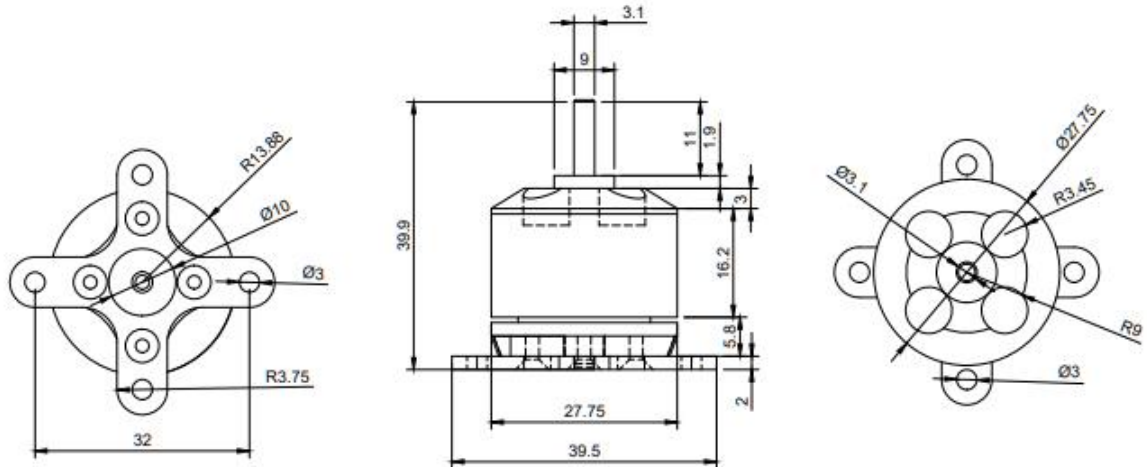
Xu Guofan. (2000). Double-body double screw propeller hydraulic driving vessel for collecting solid waste from open water (Patent Núm. CN:2388111:Y). En Patent (CN:2388111:Y).

White, F. M. (2003). Mecánica de Fluidos. Madrid: McGraw Hill, quinta edición.

14. ANEXOS.

14.1. ANEXO 1. MOTOR BRUSHLEES.

Se anexa el diseño del motor y sus características electrónicas.



MODEL	KV (rpm/V)	Voltage (V)	Prop	Load Current (A)	Pull (g)	Power (W)	Efficiency (g/W)	Lipo Cell	Weight (g) Approx
A2212	930	11.1	1060	9.8	660	109	6.1	2-4S	52
	1000		1047	15.6	885	173	5.1		
	1400		9050	19.0	910	210	4.3		
	1800		8060	20.8	805	231	3.5		
	2200		6030	21.5	732	239	3.1	2-3S	
	2450		6X3	25.2	815	280	2.9		

14.2. ANEXO 2. FORMATO FICHAS DE RECOLECCION DE DATOS.

A continuación, se presenta el instrumento de recolección de datos diseñado para el proyecto. Este instrumento consiste en fichas de registro de datos que contienen el indicador a evaluar, la fórmula que determina la naturaleza del indicador y los ítems y variables relacionados con dicha fórmula.

Este formato se diseñó específicamente para satisfacer las necesidades del proyecto, ya que las fichas de recolección de registro tienen la capacidad de adaptarse a diferentes contextos, tal como lo señala Arias (2020).

Es importante destacar que este instrumento permitirá recopilar información precisa y sistemática para poder llevar a cabo un análisis riguroso y preciso de los datos obtenidos en el proyecto. Además, la utilización de un formato estandarizado para la recolección de datos garantizará la consistencia en la información obtenida y permitirá la comparación de resultados de manera más efectiva.

Figura 127. Formato ficha de registro de datos.

Ficha de registro				
Investigador 1				
Investigador 2				
Investigador 3				
Fecha				
Indicador				
Formula				
Lugar de la prueba				
Contenido				
Item	Variable 1	Variable 2	Variable n	Resultado

Fuente:(Propia de autor, 2023)

14.3. ANEXO 3. TABLA COMPARATIVA DE CASCOS.

A continuación, se presenta una tabla donde se comparan las ventajas y desventajas de los 3 tipos de cascos de embarcación más comunes.

Tabla 9. Tabla comparativa de cascos.

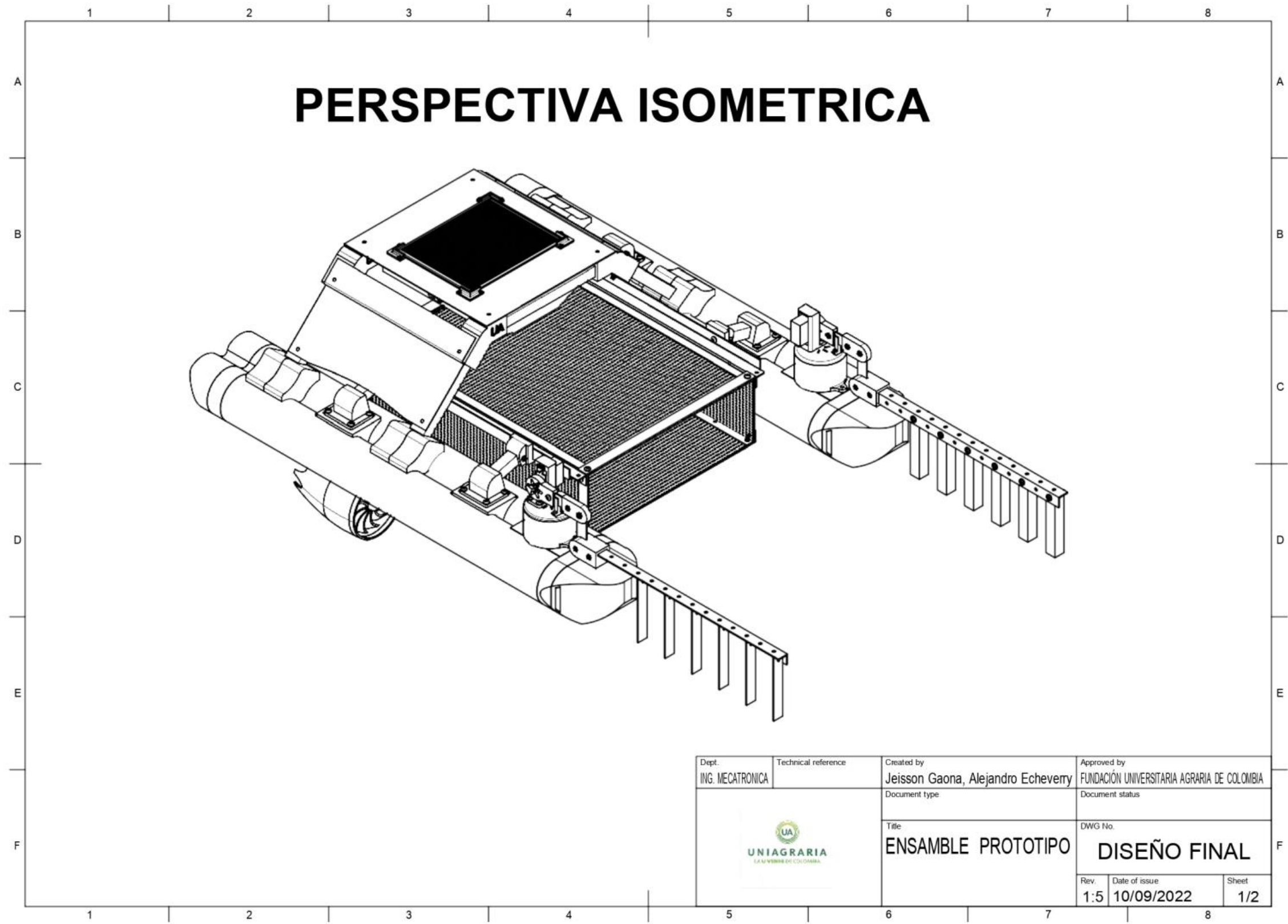
Tipo de casco	Descripción	Ventajas	Desventajas
Catamarán	Casco de embarcación con dos cascos paralelos y estrechos unidos por una cubierta.	<ul style="list-style-type: none"> Estabilidad: los catamaranes tienen una gran estabilidad gracias a su diseño de dos cascos que los hace menos susceptibles a balancearse o volcar. Esto los hace ideales para viajes en aguas abiertas y en condiciones de viento fuerte. Velocidad: los catamaranes suelen ser más rápidos que otros tipos de embarcaciones de tamaño similar. Su diseño aerodinámico reduce la resistencia y aumenta la velocidad. Ahorro de combustible: los catamaranes tienen un menor consumo de combustible en comparación con otros tipos de embarcaciones de tamaño similar debido a su menor resistencia y peso. Espacio habitable: los catamaranes tienen una mayor superficie habitable en comparación con otros tipos de embarcaciones de tamaño similar. Los dos cascos permiten una mayor superficie para el alojamiento y la comodidad de los pasajeros. Maniobrabilidad: los catamaranes son fáciles de maniobrar gracias a su gran estabilidad y su diseño de dos cascos que les permite girar rápidamente. Seguridad: debido a su diseño de dos cascos, los catamaranes tienen una mayor seguridad en caso de colisión o impacto, ya que uno de los cascos puede seguir flotando en caso de que la otra sufra daños. Menor calado: los catamaranes tienen un calado menor en comparación con otros tipos de embarcaciones de tamaño similar, lo que les permite acceder a aguas más someras y áreas que otros barcos no pueden alcanzar. 	<ul style="list-style-type: none"> Espacio para almacenamiento: debido a su diseño de dos cascos, los catamaranes tienen menos espacio para almacenamiento que otras embarcaciones de tamaño similar. Comodidad en condiciones de oleaje: aunque los catamaranes son muy estables, pueden resultar menos cómodos en condiciones de oleaje fuerte debido a que cada casco puede moverse de manera independiente y causar movimientos bruscos.
Monohull	Casco de embarcación con un solo casco.	<ul style="list-style-type: none"> Estabilidad en condiciones de oleaje: los monocascos tienen una mayor masa y un diseño que les permite cortar las olas con mayor facilidad, lo que los hace más estables en condiciones de oleaje fuerte. Menor costo: los monocascos suelen ser más económicos que los catamaranes de tamaño similar debido a su diseño más simple y al menor costo de fabricación y mantenimiento. Mayor maniobrabilidad en espacios reducidos: los monocascos tienen un tamaño más reducido y un diseño más estrecho que los hace más maniobrables en espacios reducidos como puertos y marinas. Sensación de navegación: muchos navegantes prefieren la sensación de navegación que ofrece un monocasco, ya que la embarcación se inclina y adquiere una mayor velocidad en condiciones de viento y oleaje. Versatilidad: los monocascos pueden ser utilizados en una amplia variedad de condiciones y tipos de navegación, desde la navegación costera hasta la navegación en alta mar. Facilidad de mantenimiento: los monocascos tienen menos componentes y sistemas a bordo que los catamaranes, lo que puede hacer que su mantenimiento sea más sencillo y económico. 	<ul style="list-style-type: none"> Menor estabilidad en condiciones de anclaje: debido a su diseño más estrecho, los monocascos pueden ser menos estables en condiciones de anclaje que los catamaranes. Menor espacio habitable: los monocascos tienen menos espacio habitable que los catamaranes de tamaño similar debido a su diseño más estrecho y profundo. Velocidad limitada: los monocascos pueden tener una velocidad limitada en comparación con los catamaranes debido a su diseño más estrecho y a la mayor resistencia del casco en el agua. Menor eficiencia energética: los monocascos pueden requerir más energía para navegar que los catamaranes debido a su mayor resistencia al agua, lo que puede hacer que sean menos eficientes energéticamente. Sensibilidad al peso: los monocascos son más sensibles al peso que los catamaranes, lo que significa que deben ser cargados y descargados cuidadosamente para mantener su estabilidad. Limitaciones de carga: debido a su diseño más estrecho, los monocascos pueden tener una capacidad de carga limitada en comparación con los catamaranes de tamaño similar.
SWATH	Casco de embarcación con dos cascos estrechos y separados, con una cubierta flotante suspendida entre ellos.	<ul style="list-style-type: none"> Estabilidad en condiciones de oleaje: los barcos SWATH tienen dos cascos sumergidos que les proporcionan una gran estabilidad en condiciones de oleaje fuerte. Esto significa que pueden ser utilizados en una amplia variedad de condiciones de navegación y son especialmente adecuados para aplicaciones como la investigación científica y la exploración submarina. Comodidad en el mar: debido a su diseño, los barcos SWATH tienen una mayor comodidad en el mar que otros tipos de embarcaciones. La combinación de su gran estabilidad y su capacidad para cortar las olas hace que los pasajeros se sientan más cómodos durante el viaje. Eficiencia energética: los barcos SWATH son más eficientes energéticamente que otros tipos de embarcaciones debido a su diseño de casco sumergido, lo que reduce la resistencia al agua y mejora el rendimiento del combustible. Maniobrabilidad: a pesar de su gran estabilidad, los barcos SWATH son muy maniobrables y pueden realizar giros rápidos y precisos. Versatilidad: los barcos SWATH pueden ser utilizados en una amplia variedad de aplicaciones, desde la investigación científica hasta el transporte de pasajeros y carga. Seguridad: debido a su gran estabilidad y capacidad para resistir las condiciones de oleaje fuerte, los barcos SWATH son considerados muy seguros y son adecuados para misiones de rescate y emergencia. 	<ul style="list-style-type: none"> Costo: los barcos SWATH suelen ser más caros que otros tipos de embarcaciones debido a su diseño único y los materiales y tecnología necesarios para su construcción. Espacio habitable limitado: debido a su diseño de casco sumergido, los barcos SWATH pueden tener un espacio habitable limitado en comparación con otros tipos de embarcaciones. Velocidad limitada: aunque los barcos SWATH son eficientes energéticamente, también pueden tener una velocidad limitada debido a su diseño de casco sumergido y la resistencia adicional que esto crea en el agua. Dificultad para atracar: debido a su diseño, los barcos SWATH pueden ser más difíciles de atracar en muelles y puertos que otros tipos de embarcaciones. Mantenimiento: debido a su diseño único, los barcos SWATH pueden requerir un mantenimiento especializado y costoso para mantenerlos en buen estado. Limitaciones de carga: debido a su diseño, los barcos SWATH pueden tener una capacidad de carga limitada en comparación con otros tipos de embarcaciones de tamaño similar.


Fuente:(Propia de autor, 2023)

14.4. ANEXO 4. PROPIEDADES FISICAS DE DISEÑO MECANICO DEL ROBOT.

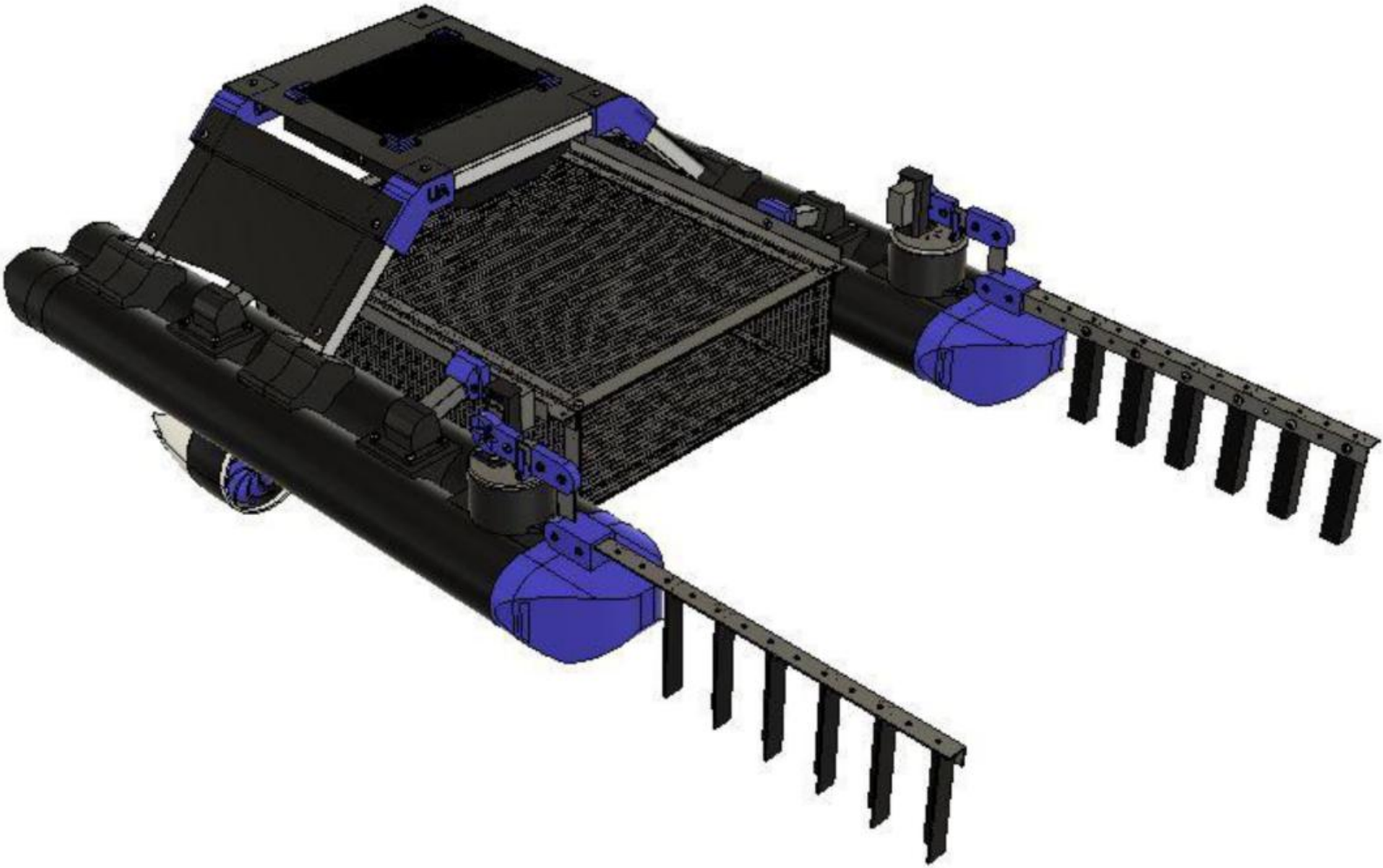
General		Momento de inercia en el centro de masa (g mm ²)		
Número de la pieza	ENSAMBLE TIPO 2	lxx	1,22E+12	
Nombre de pieza	ENSAMBLE TIPO 2 v42	lxy	4,17E+10	
Descripción	PROYECTO DE TESIS	lxz	4,63E+08	
Nombre de material	(Varios)	lyx	4,17E+10	
Administrar		lyy	1,35E+12	
Número de elemento	PIEZAS COMPLETAS	lyz	-2,22E+10	
Revisión	Working	lzx	4,63E+08	
Estado	Working	lzy	-2,22E+10	
Propiedades físicas		lzz	2,37E+12	
Mass	16119.124 g	Momento de inercia en origen (g mm ²)		
Volumen	8.176E+06 mm ³	lxx	1,37E+12	
Densidad	0.002 g / mm ³	lxy	5,13E+10	
Área	5.994E+06 mm ²	lxz	-9,09E+09	
Universal X, Y, Z	0.00 mm, 0.00 mm, 0.00 mm	lyx	5,13E+10	
Centro de masa	8.137 mm, -67.277 mm, 66.985 mm	lyy	1,43E+12	
Cuadro delimitador		lyz	5,68E+10	
	Longitud	765.208 mm	lzx	-9,09E+09
	Anchura	1251.693 mm	lzy	5,68E+10
	Altura	379.731 mm	lzz	2,45E+12


14.5. ANEXO 5. PLANOS DE DISEÑO MECANICO DEL ROBOT.

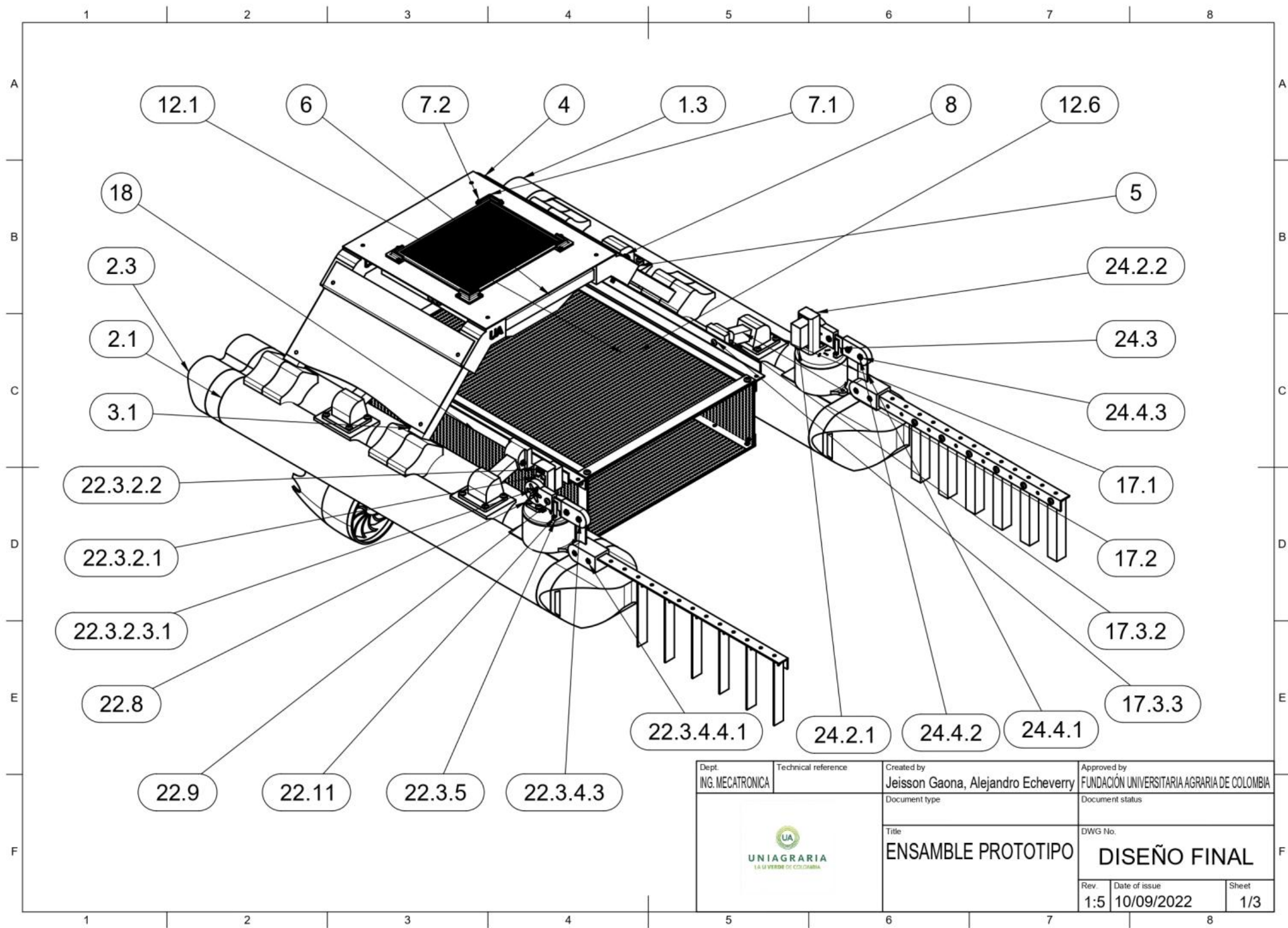



Dept. ING. MECATRONICA	Technical reference	Created by Jeisson Gaona, Alejandro Echeverry	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title ENSAMBLE PROTOTIPO	DWG No. DISEÑO FINAL
		Rev. 1:5	Date of issue 10/09/2022
		Sheet 1/2	

PERSPECTIVA ISOMETRICA



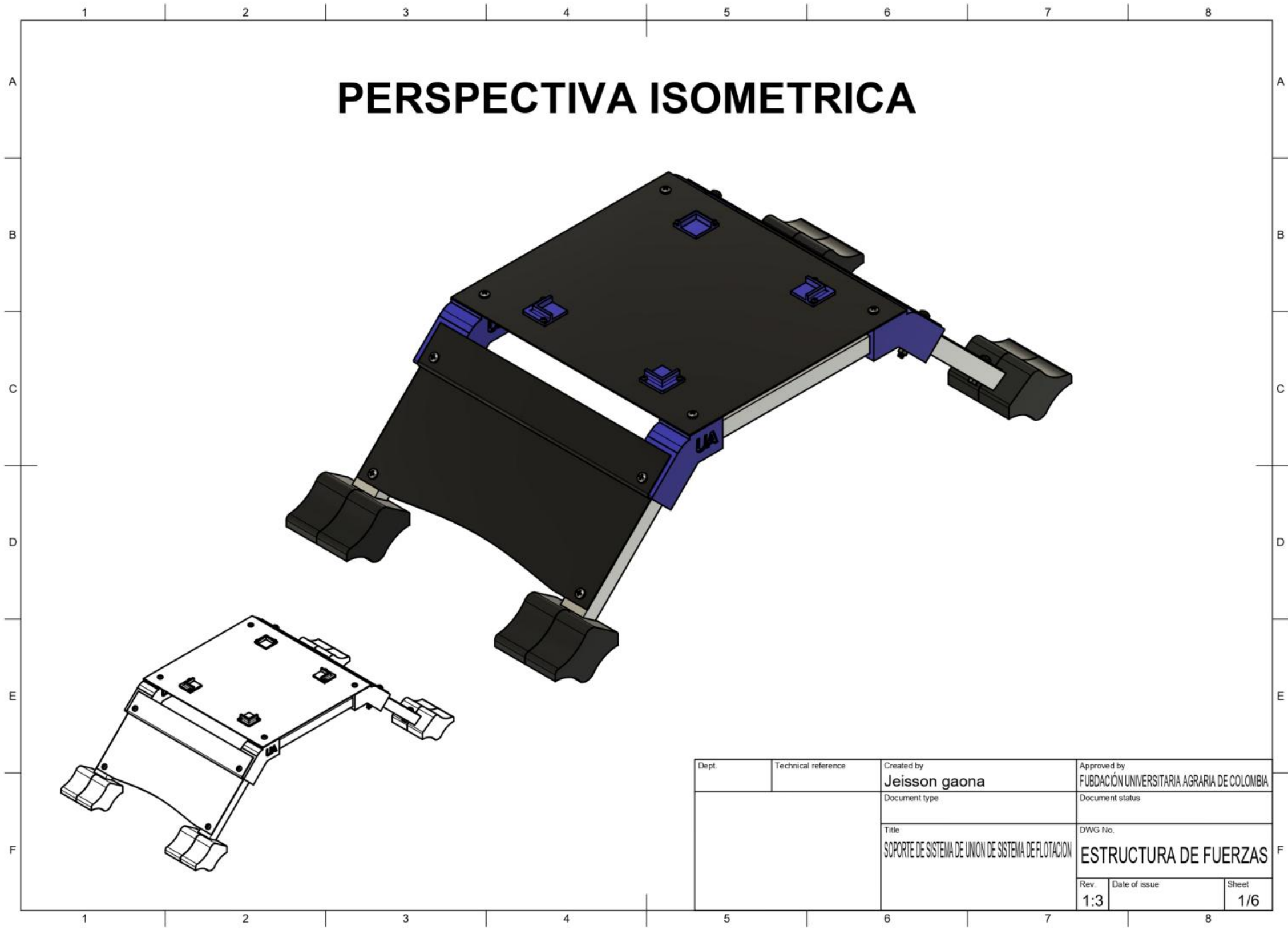
Dept. ING. MECATRONICA	Technical reference	Created by Jeisson Gaona, Alejandro Echeverry	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
	Document type	Document status	
	Title ENSAMBLE PROTOTIPO	DWG No. DISEÑO FINAL	
	Rev. 1:5	Date of issue 10/09/2022	Sheet 2



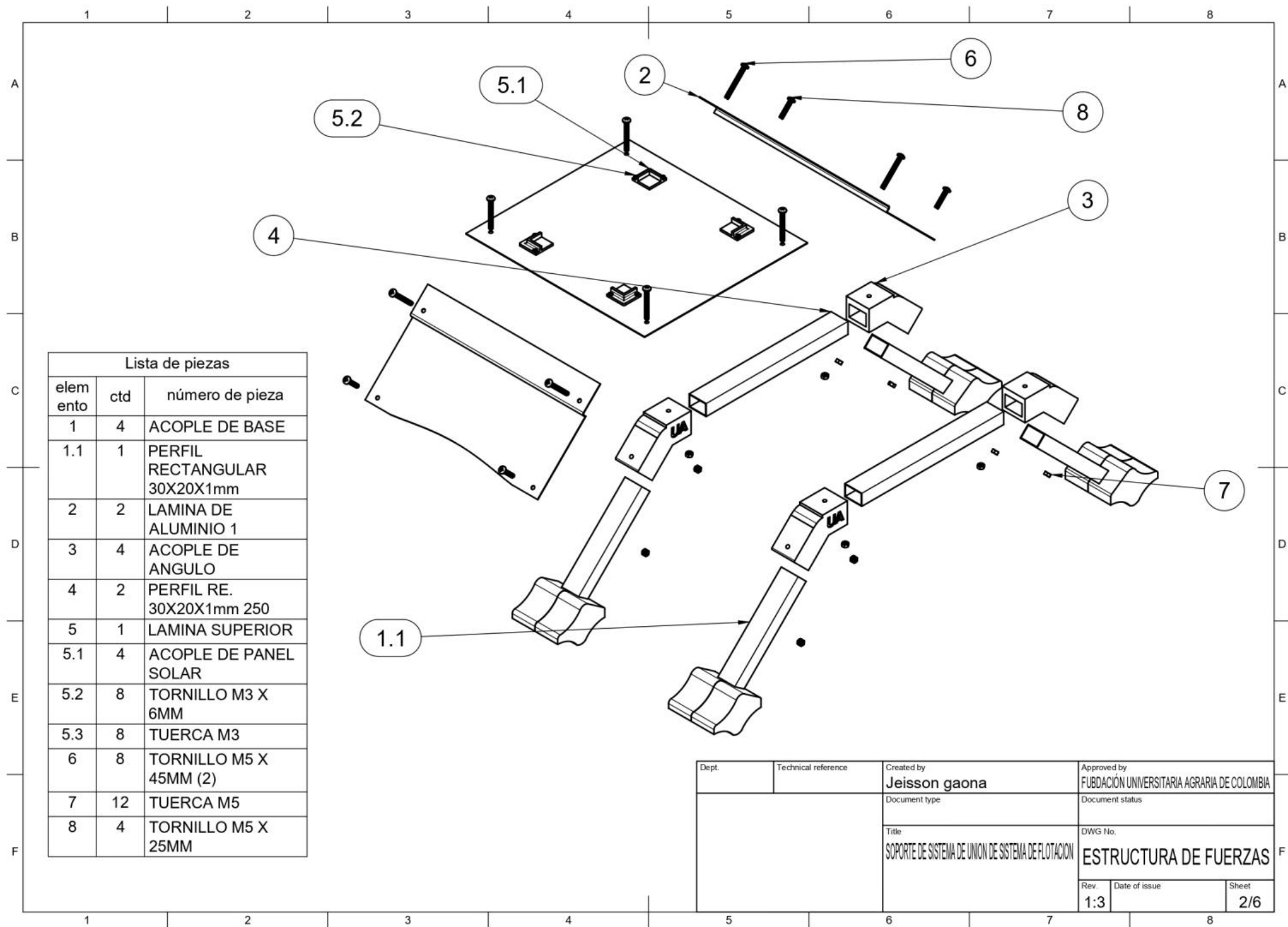
Dept. ING. MECATRONICA	Technical reference	Created by Jeisson Gaona, Alejandro Echeverry	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title ENSAMBLE PROTOTIPO	DWG No. DISEÑO FINAL
Rev. 1:5	Date of issue 10/09/2022	Sheet 1/3	

Lista de piezas			Lista de piezas			Lista de piezas			Lista de piezas			Lista de piezas					
elem ento	ctd	nombre de pieza	elem ento	ctd	nombre de pieza	elem ento	ctd	nombre de pieza	elem ento	ctd	nombre de pieza	elem ento	ctd	nombre de pieza			
1	1	ENSAMBLE DE SISTEMA FLOTACION DE v14	7.2	8	TORNILLO M3 X 6MM	16.1	4	TUERCA M5 S.C	21	2	ACOPLE DE SISTEMA DE BARRERA v3	22.3.4.4	1	ACOPLE DE BRAZO 3 v3			
			7.3	8	TUERCA M3	17	4	ACOPLE DE SOPORTE CANASTA v15				22.3.4.4.1	2	TUERCA M5			
			8	1	TORNILLO M5 X 45MM	17.1	4	TORNILLO M5 X 12 MM	21.1	2	TUERCA M5 A.B	22.3.4.4.2	2	TORNILLO M5 X 30MM			
			11	2	ACOPLE DE SISTEMA DE TURBINA v4	17.2	1	PERFIL C. 20X20X1MM 110MM v4	22	1	BASE v19	22.3.5	1	SOPORTE DE BRAZO v2			
1.1	2	TUBERIA 4" 70 CM v5	11.1	2	TUERCA M5 A.T	17.3	1	ACOPLE DE CANASTA 2 v11	22.1	1	SERVO MG995 v2	22.3.5	1	Angulo de 20x20 de 2mm (430MM) v3			
1.2	1	ACOPLE1 v16				17.3.1	2	TUERCA M5 A.C.2	22.2	1	PASADOR SERVO MG995 v2						
1.3	1	ACOPLE2 v4				12.1	1	CUERPO COMPLETO TURBINA 1 v8	17.3.2	1	TORNILLO M5 X 35 MM	22.3.2	1	ACOPLE SERVO v8	22.4	1	Angulo de 20x20 de 2mm (120mm) v3
2	1	ENSAMBLE DE SISTEMA FLOTACION IZ v11	12.2	1	MOTOR BRUSHLESS v3	17.3.3	1	TORNILLO M5 X12 MM	22.3.2.1	1	SERVO MG995 v2	22.5	6	Angulo de 20x20 de 2mm (120mm) v3			
			2.1	2	TUBERIA 4" 70 CM v5	12.3	6	TORNILLO M3 X 18 MM	18	2	Angulo de 20x20 de 2mm (500MM) v2				22.3.2.2	4	TORNILLO M4 15MM
			2.2	1	ACOPLE1 v16	12.4	1	CUERPO COMPLETO TURBINA 2 v3	19	1	CIERRE DE PERFIL DER v5				22.3.2.3	1	ACOPLE BRAZO v7
2.3	1	ACOPLE2 v4	12.5	1	COLA TURBINA v3	19.1	1	90592A095_Steel Hex Nut	22.3.2.3.1	1	PASADOR SERVO MG995 v2	22.3.2.3	1	PASADOR SERVO MG995 v2			
3	4	ACOPLE DE BASE v14	12.6	1	ASPA v3	19.2	1	92000A326_Passivated 18-8 Stainless Steel Pan Head Phillips Screws	22.3.3	1	PERFIL PLANO 20X2MM (60MM) v2	22.3.3	1	PERFIL PLANO 20X2MM (60MM) v2			
			3.1	1	PERFIL RECTANGULAR 30X20X1mm v9	12.7	1	PUNTA DE TURBINA v4	20	1	CIERRE DE PERFIL IZQ v8	22.3.4	1	ACOPLE DE BRAZO 2 v3	22.7	6	TUERCA M5
			4	2	LAMINA DE ALUMINIO 1 v17	12.8	1	SOPORTE DE AGARRE TURBINA v7	20.1	1	TUERCA M5	22.3.4.1	1	PERFIL PLANO 20X2MM (70MM) v5	22.8	2	TORNILLO M5 X 18MM
			5	4	ACOPLE DE ANGULO v23	16	4	ACOPLE DE SISTEMA CANASTA v3	20.2	1	TORBILLO M5 X 16MM	22.3.4.2	2	TORNILLO M5 X 12MM	22.9	1	TORNILLO M5 X10 MM
6	2	PERFIL RE. 30X20X1mm 250 v5	23	1	BASE IZQ v5	23.1	1	SERVO MG995 v2	23.2	1	PASADOR SERVO MG995 v2	24	1	TAPA SUPERIOR IZQ v15			
7	1	LAMINA SUPERIOR v37													23.2	1	PASADOR SERVO MG995 v2
7.1	4	ACOPLE DE PANEL SOLAR v1															

Lista de piezas			Lista de piezas			Lista de piezas			Lista de piezas		
elem ento	ctd	nombre de pieza	elem ento	ctd	nombre de pieza	elem ento	ctd	nombre de pieza	elem ento	ctd	nombre de pieza
24.2.1	1	SERVO MG995 v2	24.8	3	TUERCA M5	26.1	1	VIDRIO v1	32.6	1	Text
24.2.2	4	TORNILLO M4 15MM	24.9	2	TONILLO M3 X 18MM	26.2	4	TORNILLO M5 X 20MM			
24.2.3	1	ACOPLE BRAZO v7	24.10	2	TUERCA M3	26.3	4	TUERCA M5			
24.2.3.1	1	PASADOR SERVO MG995 v2	24.11	1	TORNILLO M5 X 12MM	26.4	6	TUERCA M3			
24.3	1	PERFIL PLANO 20X2MM (60MM) v2	24.12	6	Angulo de 20x20 de 2mm (120mm) v3	26.5	1	TAPA CAJA DE CONTROL v5			
24.4	1	ACOPLE DE BRAZO 2 IZQ v2	24.13	6	TORNILLO M5 X 8 MM	26.5.1	2	SEGURO DE TAPA DE CONTROL v2			
24.4.1	1	PERFIL PLANO 20X2MM (70MM) v5	24.14	1	TUERCA M5 (1)	26.5.2	2	TORNILLO M5 X 12MM			
24.4.2	2	TORNILLO M5 X 12MM	25	1	ENSAMBLE 2 v6	26.5.3	2	TUERCA M5			
24.4.3	2	TUERCA M5	25.1	6	Angulo de 20x20 de 2mm (500MM) 2 v7	26.5.4	2	TRABAROSCA M5			
24.4.5	1	ACOPLE DE BRAZO 3 IZQ v2	25.2	1	Angulo de 20x20 de 2mm (373mm) v2	26.5.5	1	TAPA SECUNDARIA CAJA DE CONTROL v1			
24.4.5.1	2	TUERCA M5	25.3	3	Angulo de 20x20 de 2mm (373mm) 2 v3	26.6	6	TORNILLO M3 X 14 MM			
24.4.5.2	2	TORNILLO M5 X 30MM	25.4	4	Angulo de 20x20 de 2mm (122mm) v3	26.7	2	Angulo de 20x20 de 2mm (190mm) v2			
24.5	1	Angulo de 20x20 de 2mm (430MM) v3	25.5	22	TORNILLO M5 X 8MM	32	1	Solar Panel v4 v4			
24.6	1	SOPORTE DE BRAZO v2	25.6	1	REJILLA 1 v1	32.1	1	Componente1			
24.7	2	TORNILLO M5 18MM	25.7	2	REJILLA 2 v2	32.2	1	Componente2			
			25.8	2	REJILLA 3 v2	32.3	1	Componente3			
			26	1	CAJA DE CONTROL v9	32.4	1	Pads			
						32.5	1	Tracks			

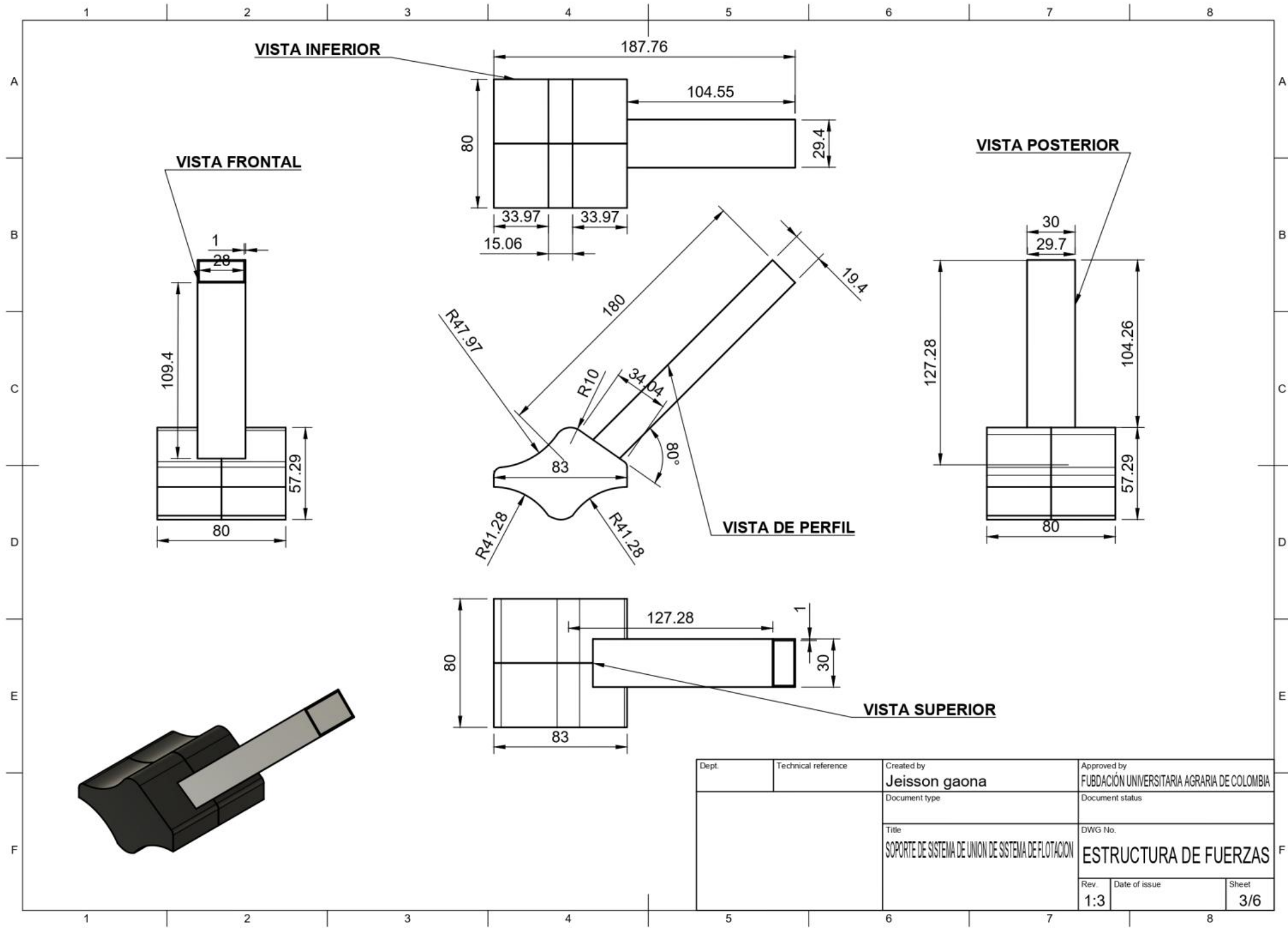


Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title SOPORTE DE SISTEMA DE UNION DE SISTEMA DE FLOTACION	DWG No. ESTRUCTURA DE FUERZAS
		Rev. 1:3	Date of issue Sheet 1/6

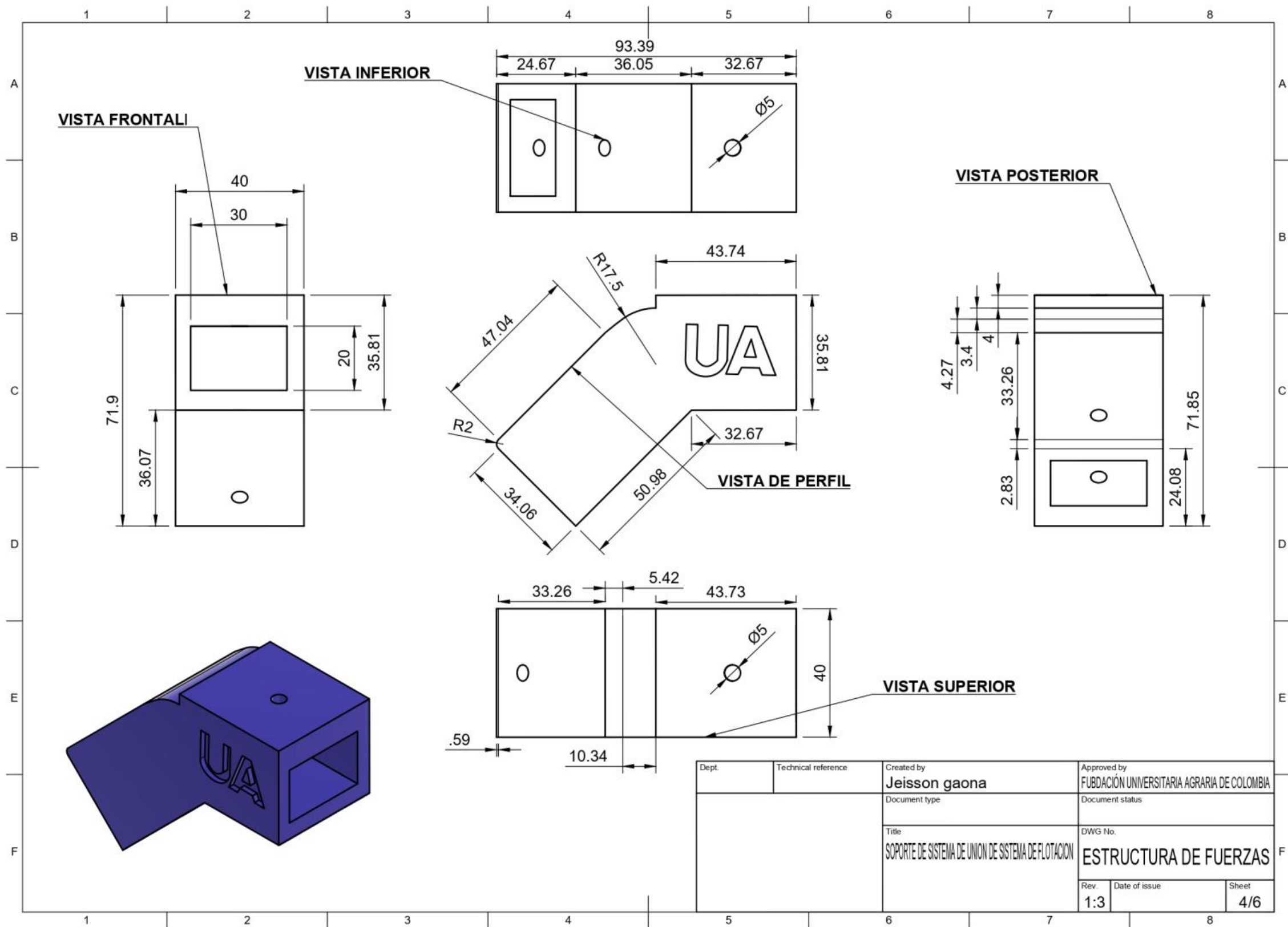


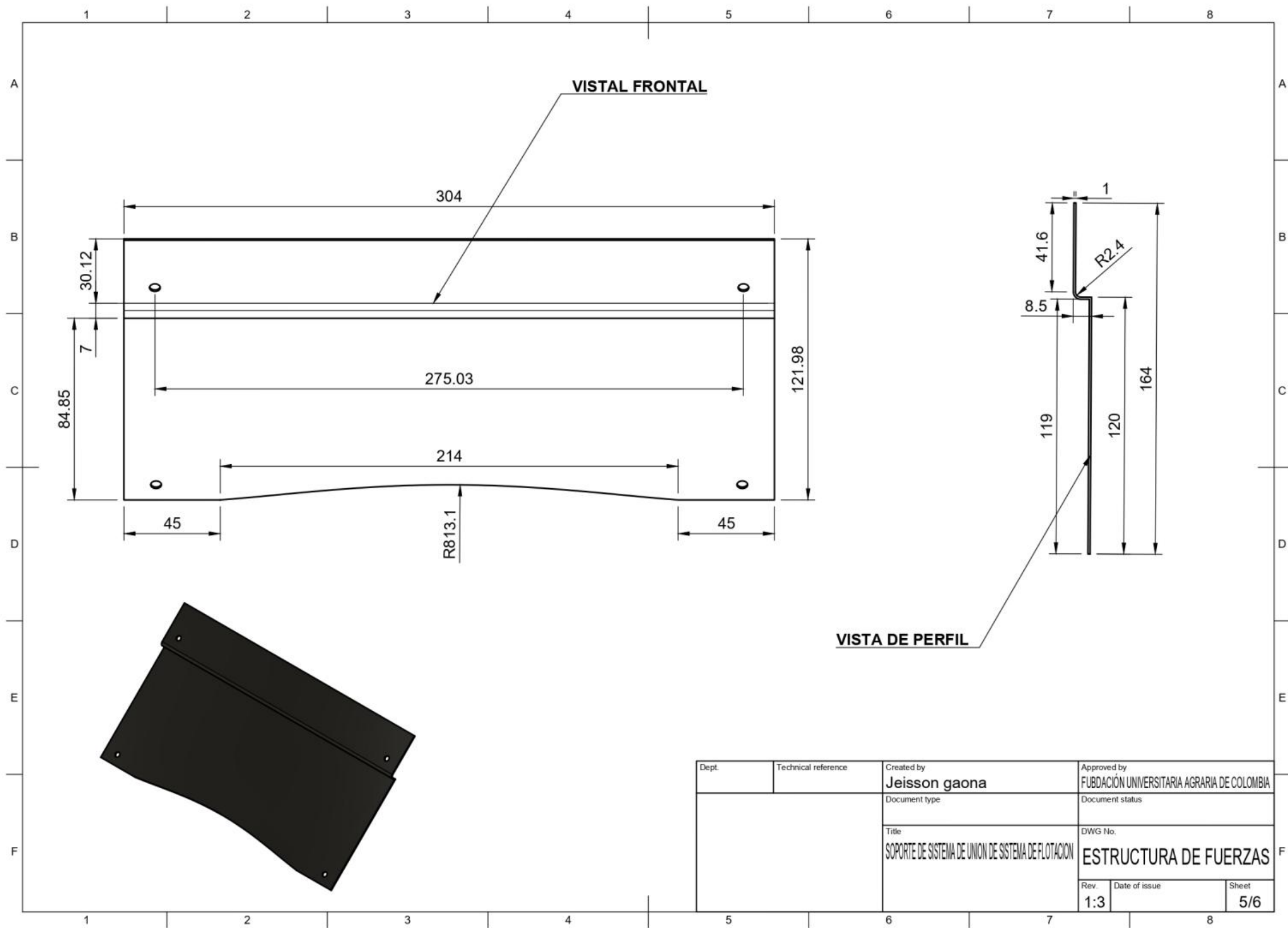
Lista de piezas		
elemento	ctd	número de pieza
1	4	ACOPLE DE BASE
1.1	1	PERFIL RECTANGULAR 30X20X1mm
2	2	LAMINA DE ALUMINIO 1
3	4	ACOPLE DE ANGULO
4	2	PERFIL RE. 30X20X1mm 250
5	1	LAMINA SUPERIOR
5.1	4	ACOPLE DE PANEL SOLAR
5.2	8	TORNILLO M3 X 6MM
5.3	8	TUERCA M3
6	8	TORNILLO M5 X 45MM (2)
7	12	TUERCA M5
8	4	TORNILLO M5 X 25MM

Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title SOPORTE DE SISTEMA DE UNION DE SISTEMA DE FLOTACION	DWG No. ESTRUCTURA DE FUERZAS
		Rev. 1:3	Date of issue Sheet 2/6



Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title SOPORTE DE SISTEMA DE UNION DE SISTEMA DE FLOTACION	DWG No. ESTRUCTURA DE FUERZAS
		Rev. 1:3	Date of issue Sheet 3/6

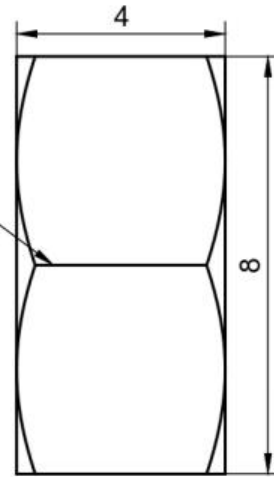




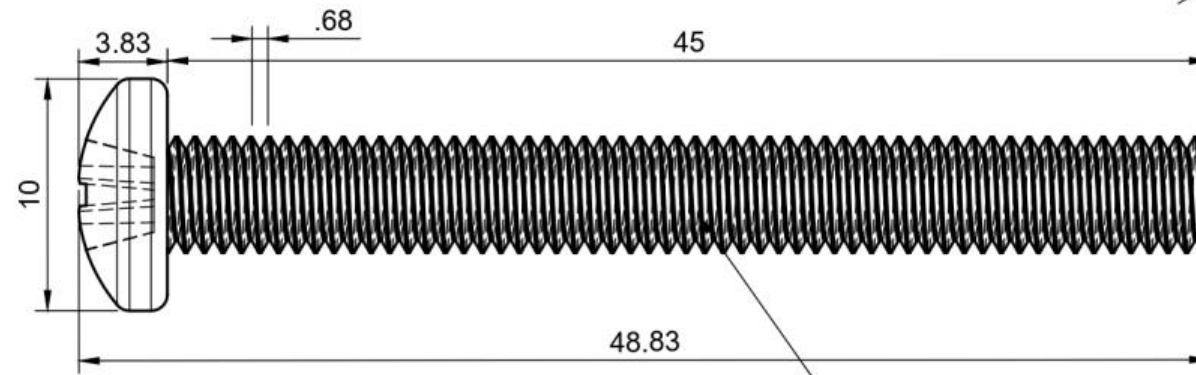
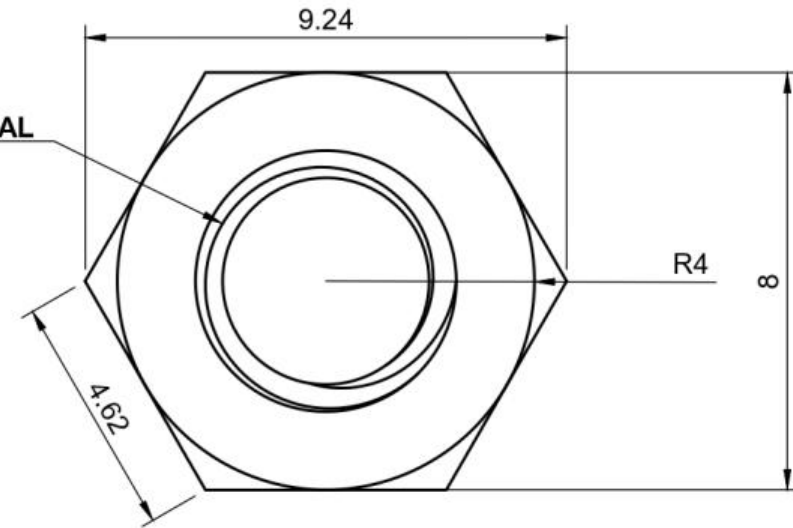
Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title SOPORTE DE SISTEMA DE UNION DE SISTEMA DE FLOTACION	DWG No. ESTRUCTURA DE FUERZAS
		Rev. 1:3	Date of issue Sheet 5/6

PIEZAS DE SIJECCIÓN

VISTA DE PERFIL

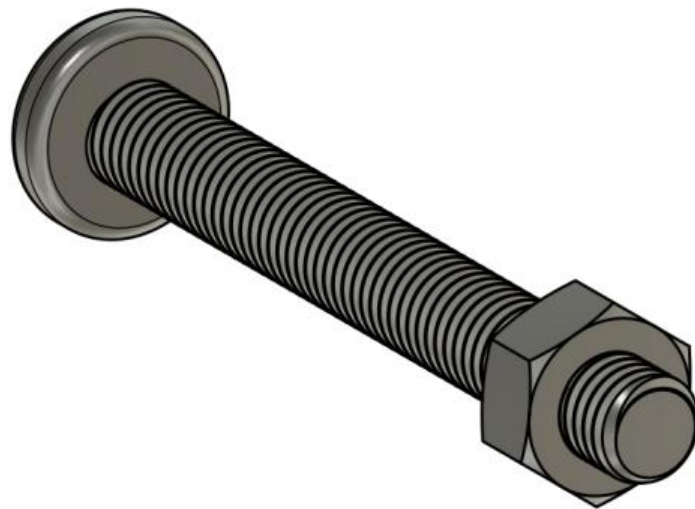
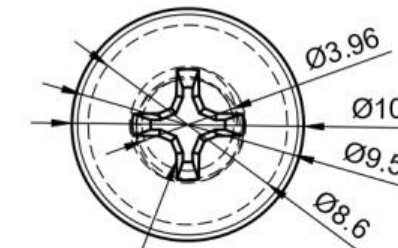


VISTA FRONTAL

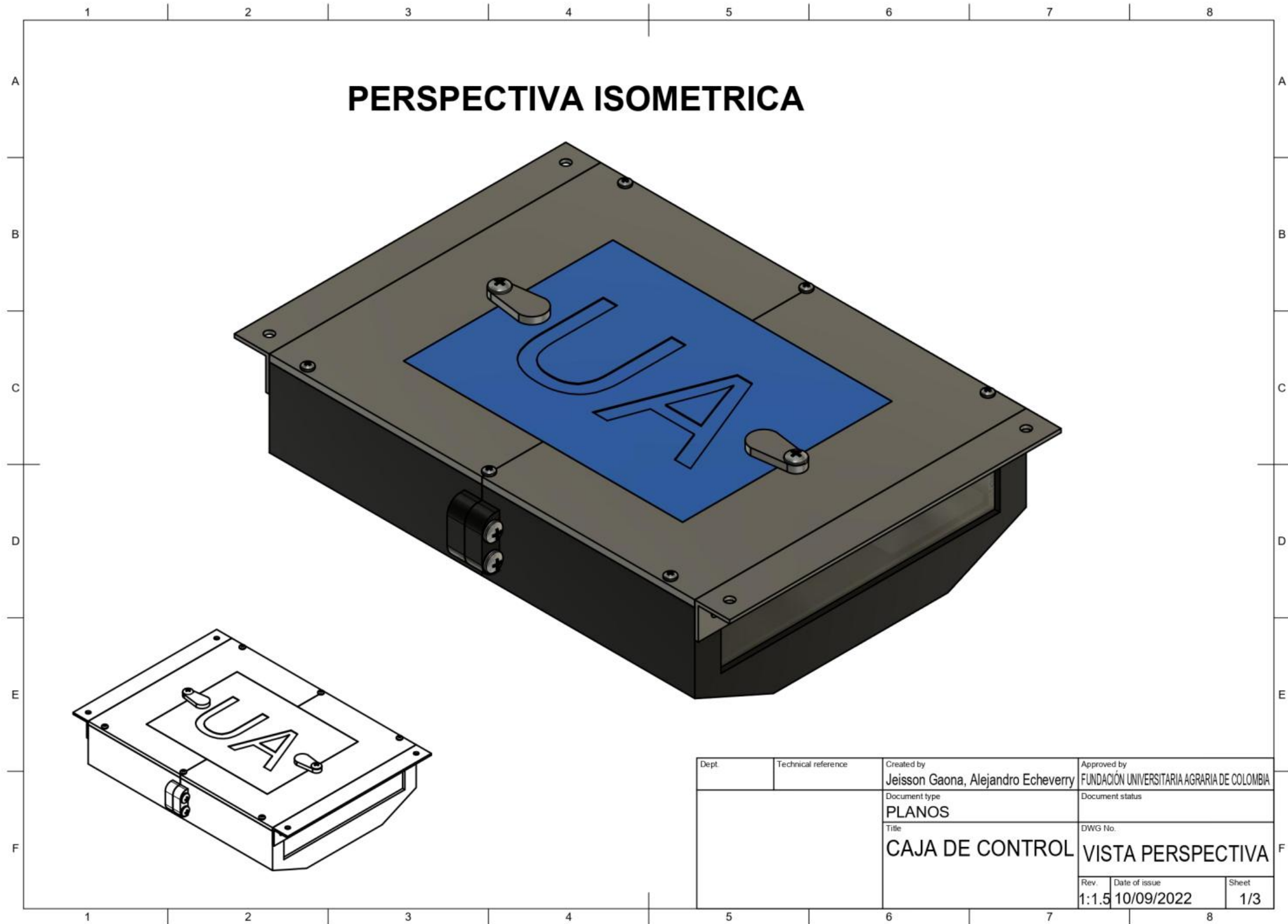


VISTA DE PERFIL

VISTA FRONTAL

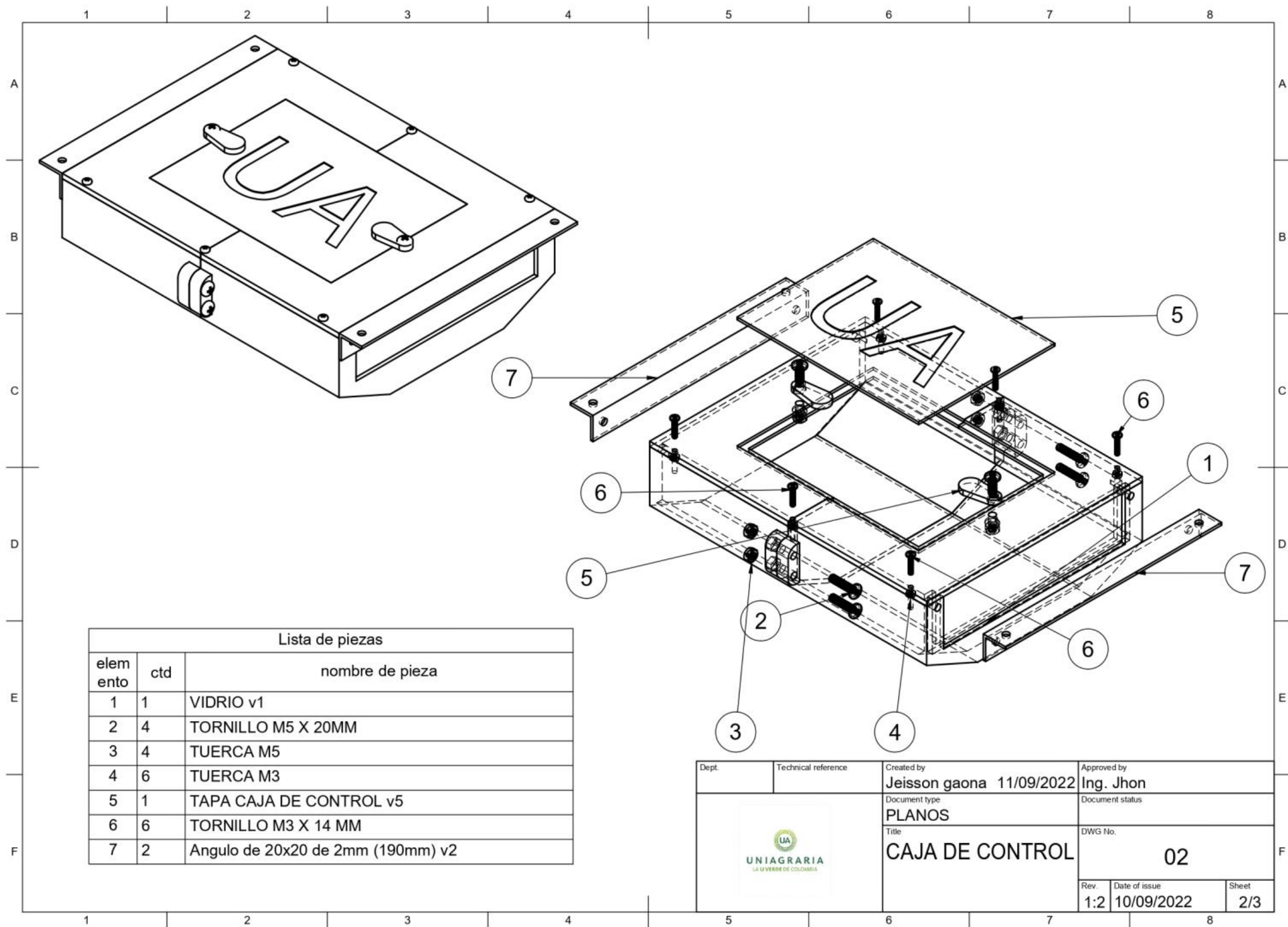


Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title SOPORTE DE SISTEMA DE UNION DE SISTEMA DE FLOTACION	DWG No. ESTRUCTURA DE FUERZAS
		Rev. 1:3	Date of issue Sheet 6/6




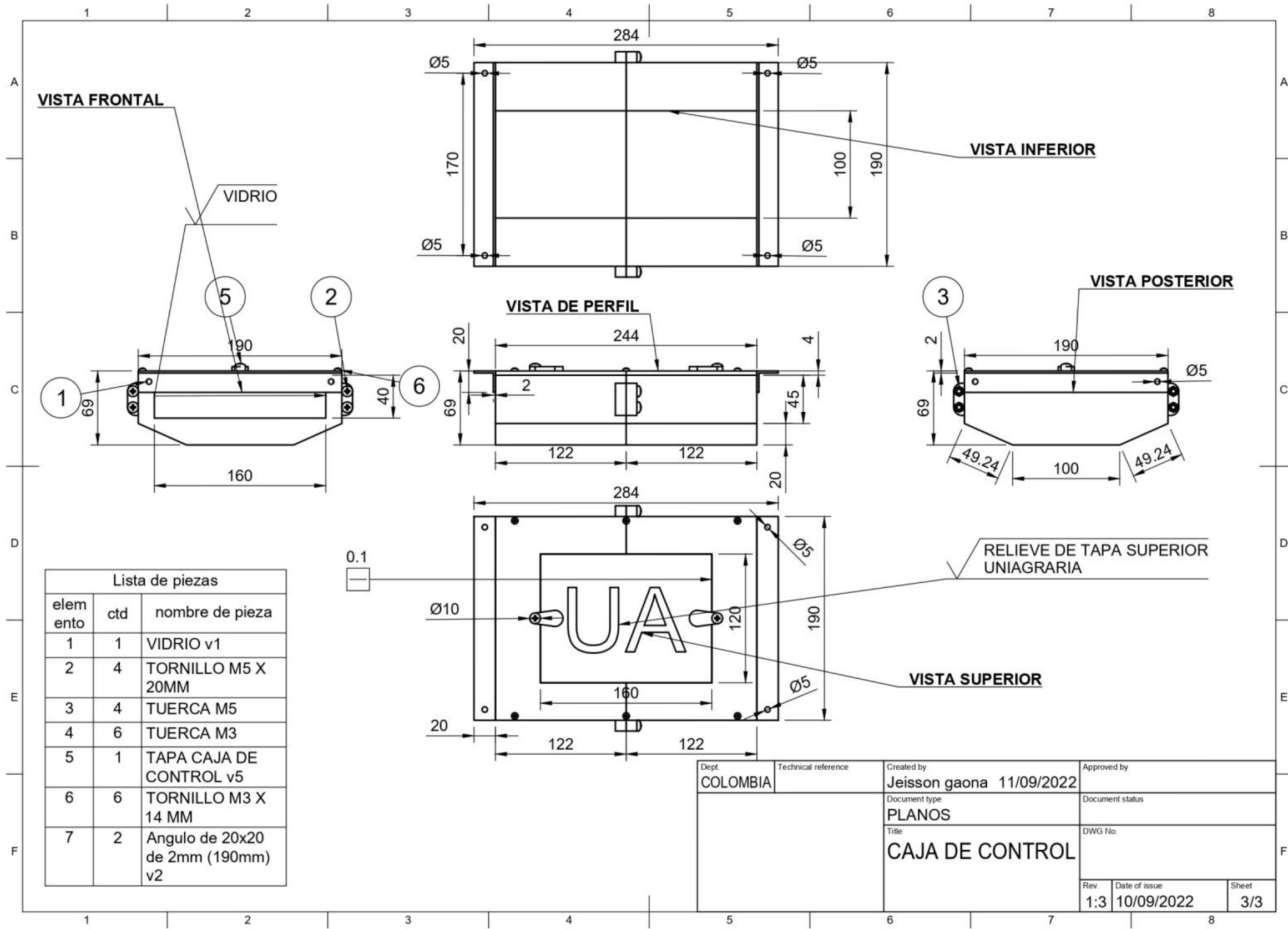
PERSPECTIVA ISOMETRICA

Dept.	Technical reference	Created by Jeisson Gaona, Alejandro Echeverry	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type PLANOS	Document status
		Title CAJA DE CONTROL	DWG No. VISTA PERSPECTIVA
		Rev.	Date of issue
		1:1.5	10/09/2022
		Sheet	1/3

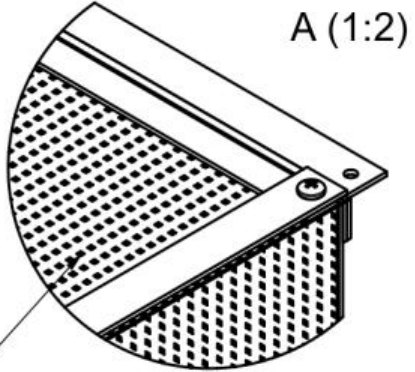
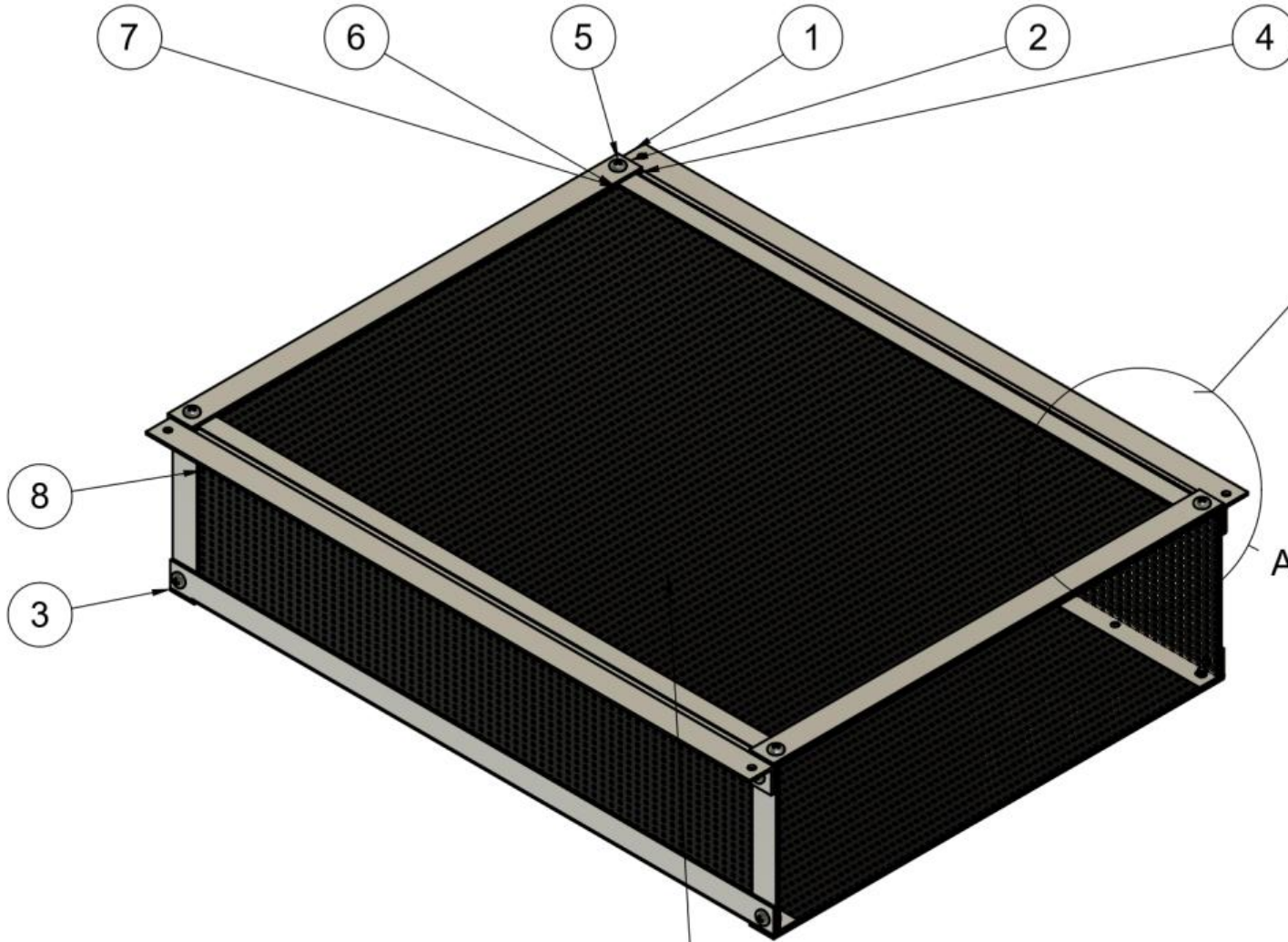


Lista de piezas		
elem ento	ctd	nombre de pieza
1	1	VIDRIO v1
2	4	TORNILLO M5 X 20MM
3	4	TUERCA M5
4	6	TUERCA M3
5	1	TAPA CAJA DE CONTROL v5
6	6	TORNILLO M3 X 14 MM
7	2	Angulo de 20x20 de 2mm (190mm) v2

Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona 11/09/2022	Approved by Ing. Jhon
	Document type PLANOS	Document status	
	Title CAJA DE CONTROL	DWG No. 02	
Rev. 1:2	Date of issue 10/09/2022	Sheet 2/3	



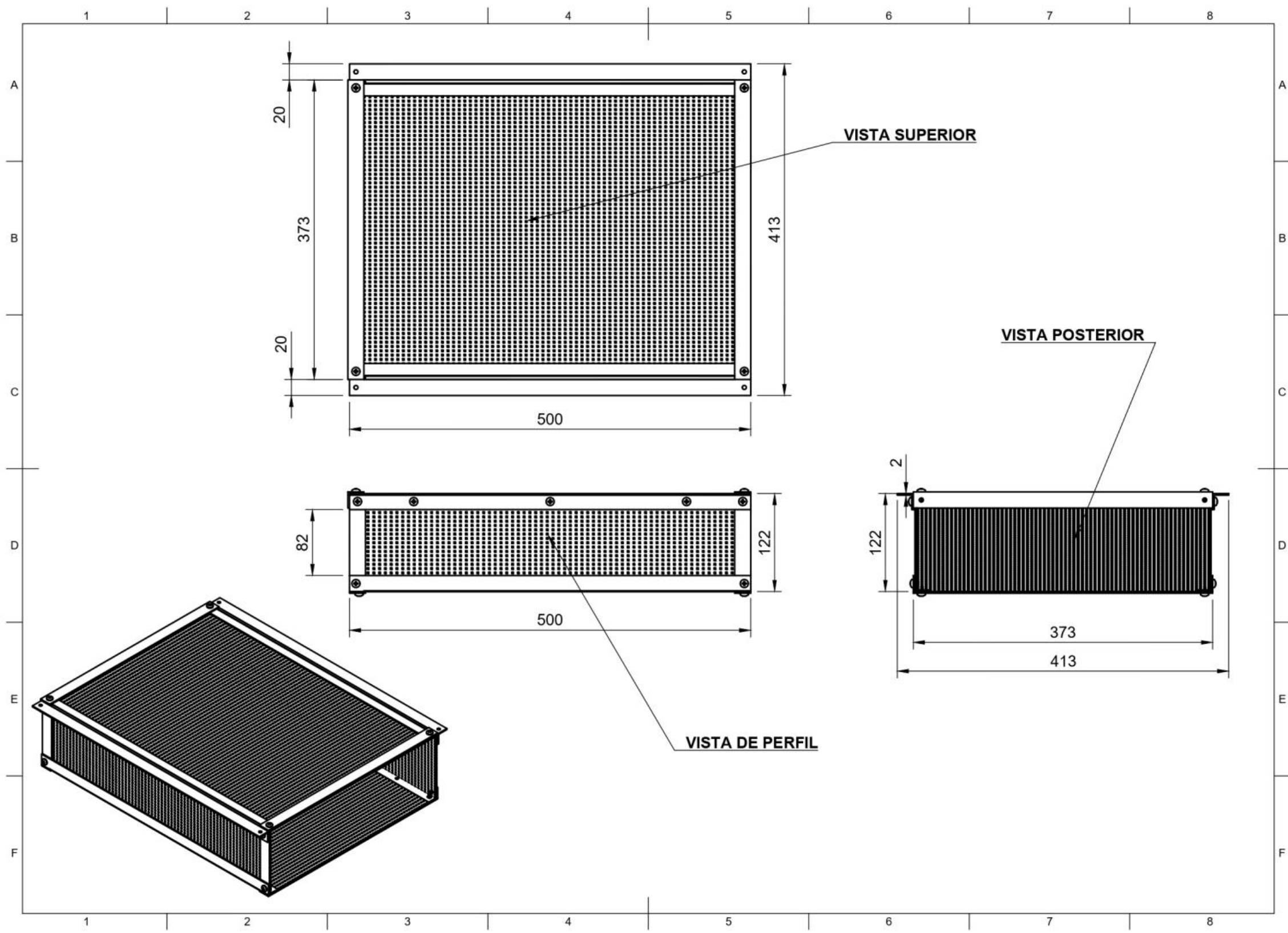
CESTA DE RECOLECCIÓN



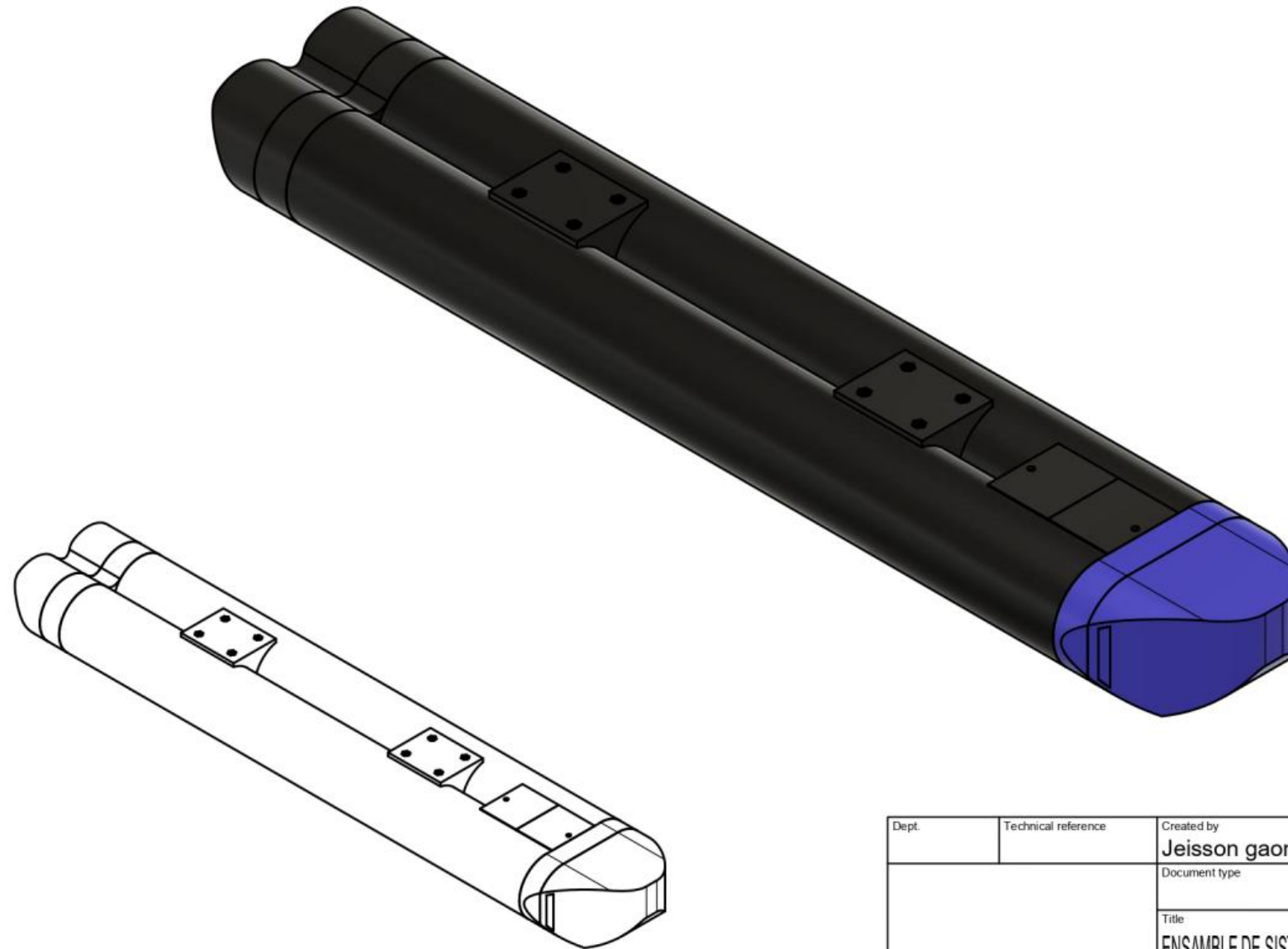
Lista de piezas		
elem ento	ctd	número de pieza
1	6	Angulo de 20x20 de 2mm (500MM) 2
2	1	Angulo de 20x20 de 2mm (373mm)
3	3	Angulo de 20x20 de 2mm (373mm) 2
4	4	Angulo de 20x20 de 2mm (122mm)
5	22	TORNILLO M5 X 8MM
6	1	REJILLA 1
7	2	REJILLA 2
8	2	REJILLA 3

En la malla de la cesta viene constituida por dos materiales uno con el proposito de la retención del plastico más grande y el otro material con el proposito de retención de las particulas más pequeñas. (microplastico)

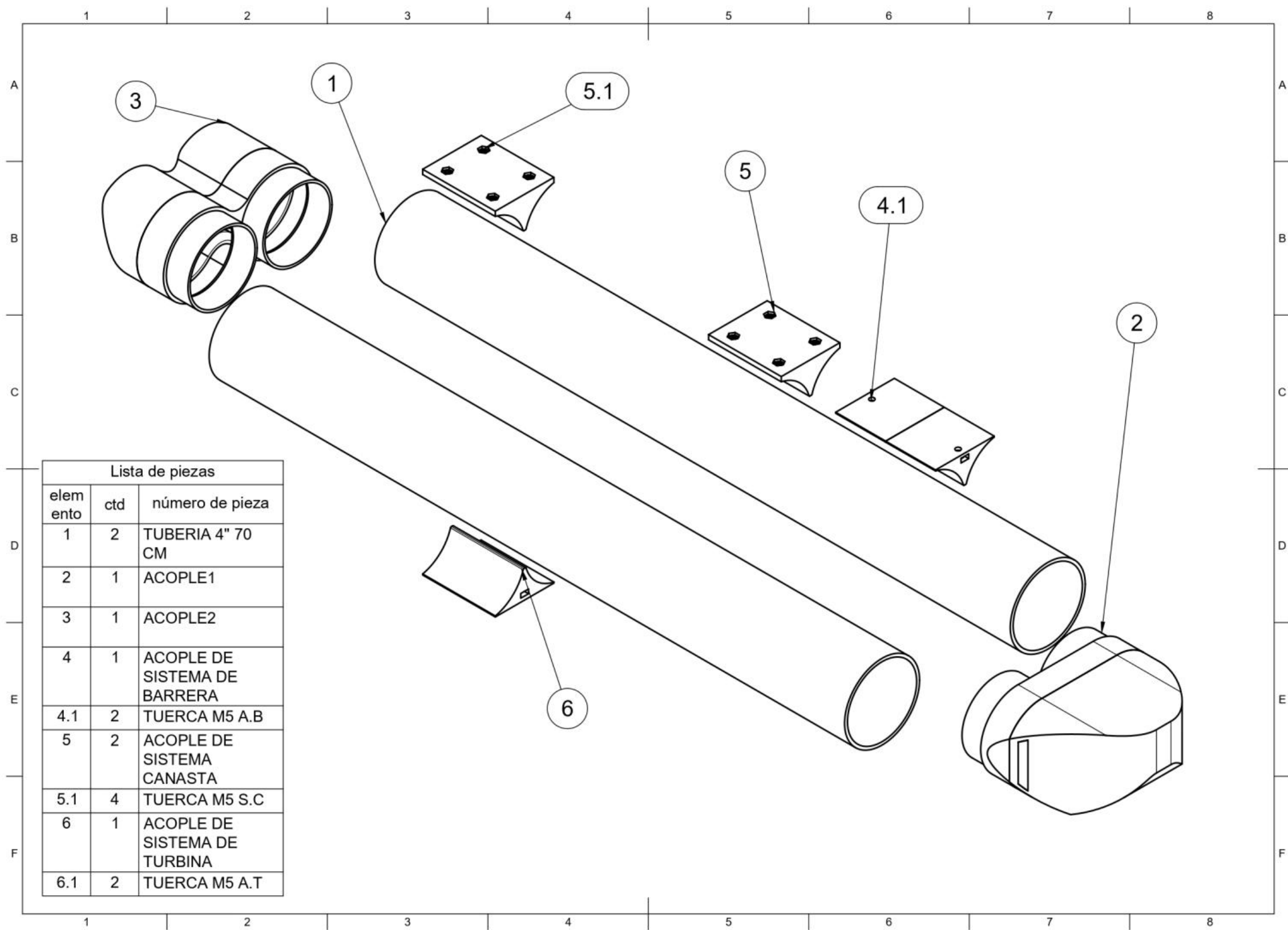
Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by
		Document type	Document status
		Title CESTA DE RECOLECCIÓN	DWG No.
		Rev.	Date of issue
		Sheet	1/2

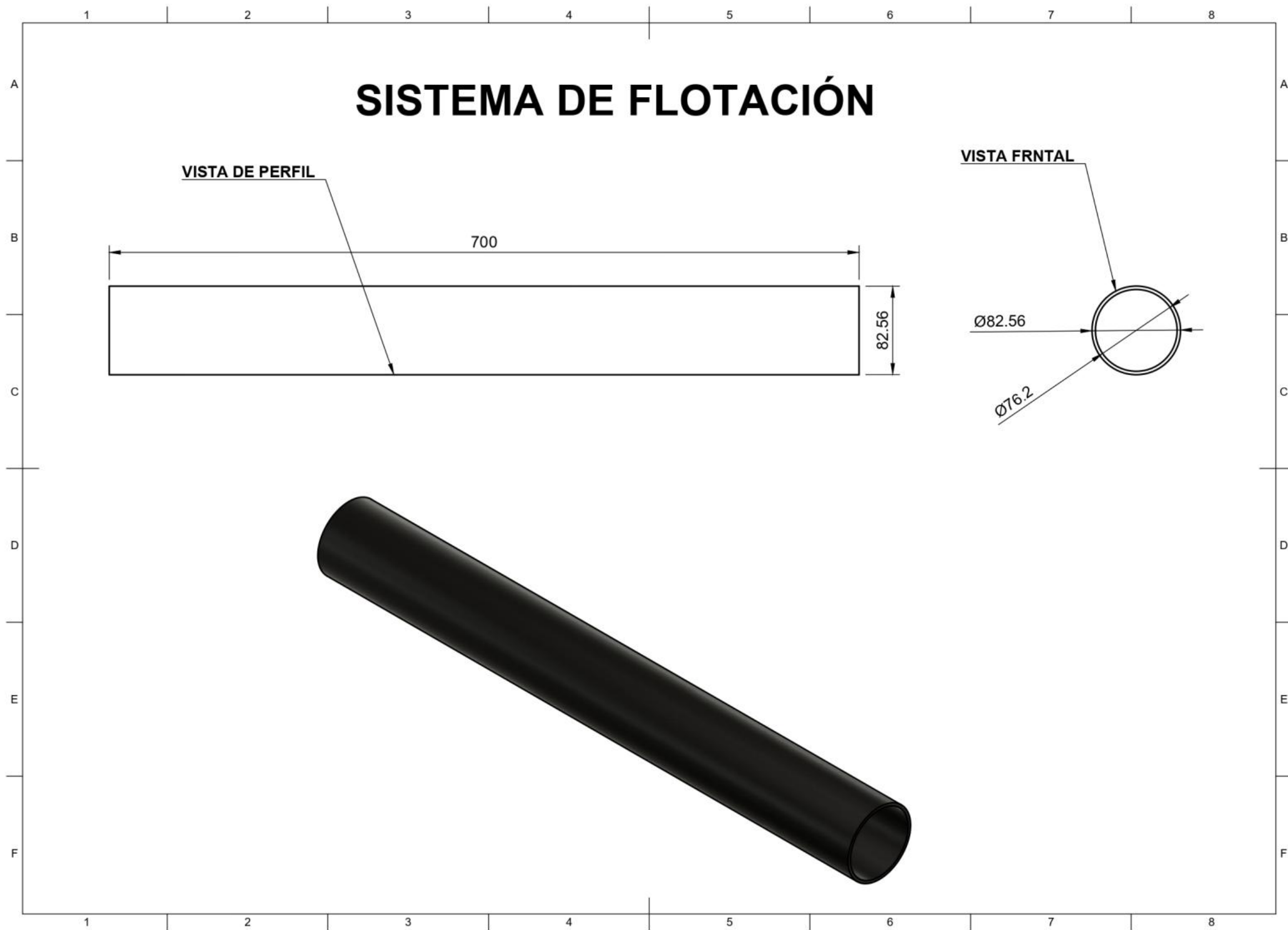


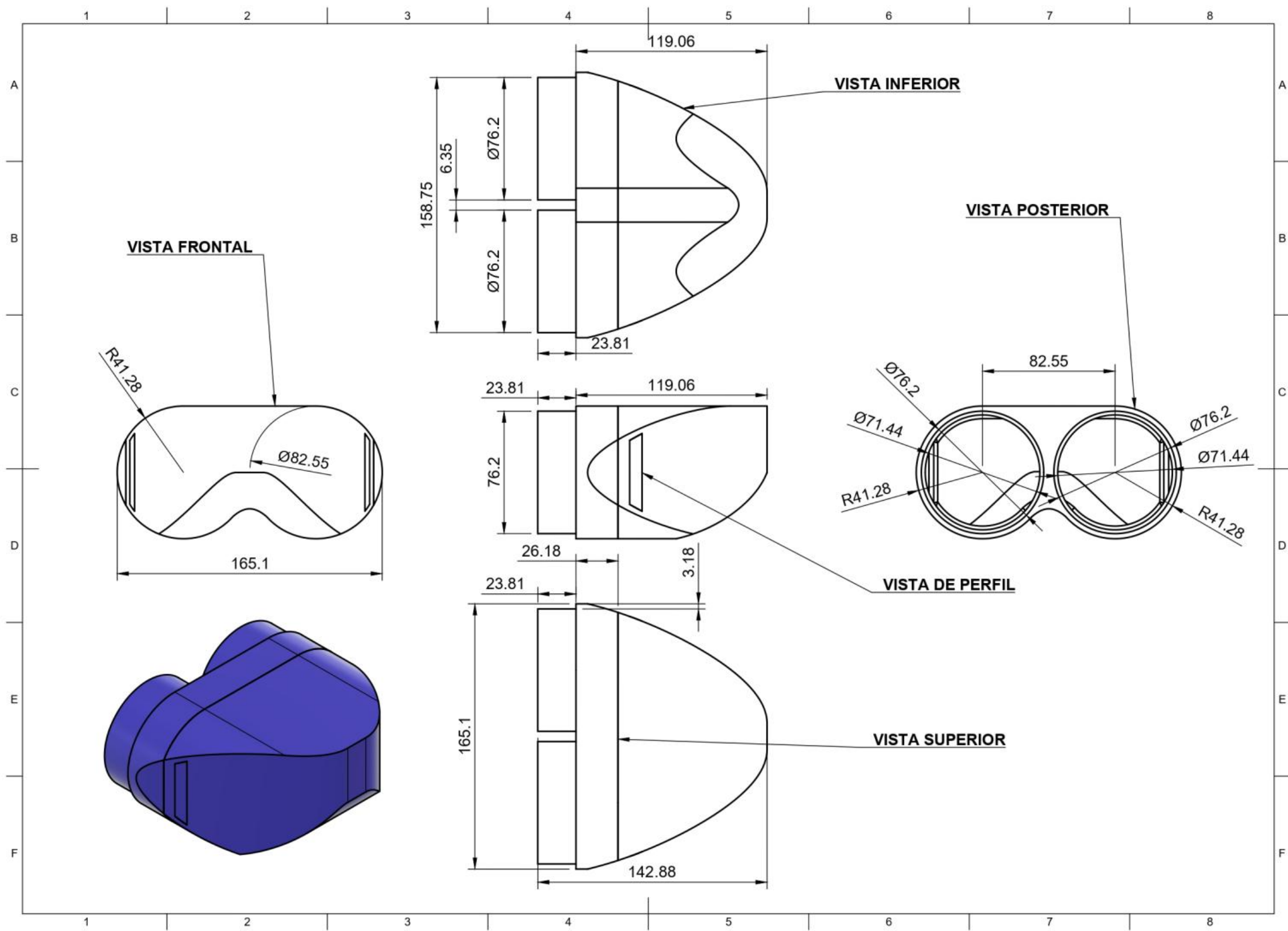
SISTEMA DE FLOTACIÓN

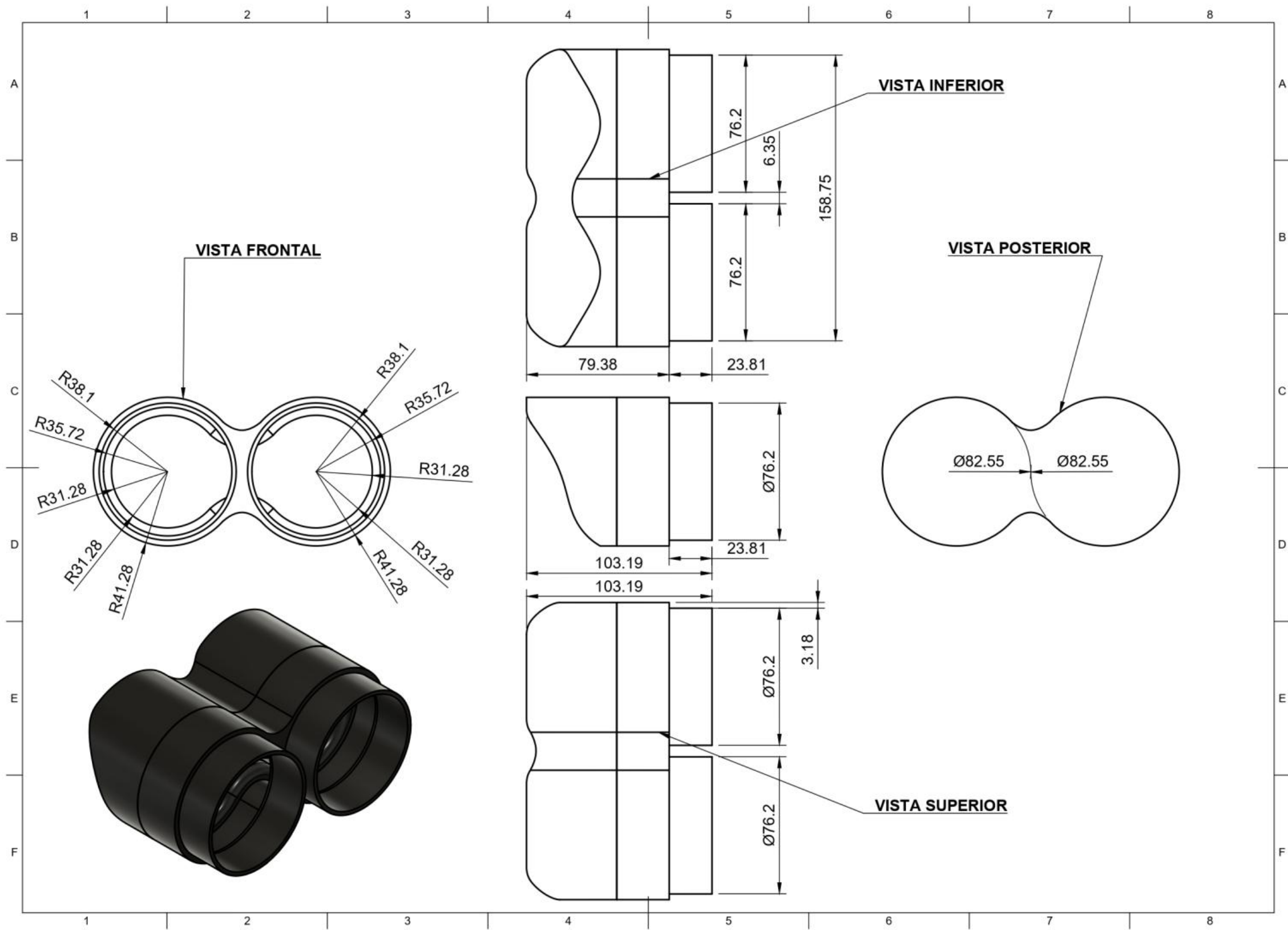


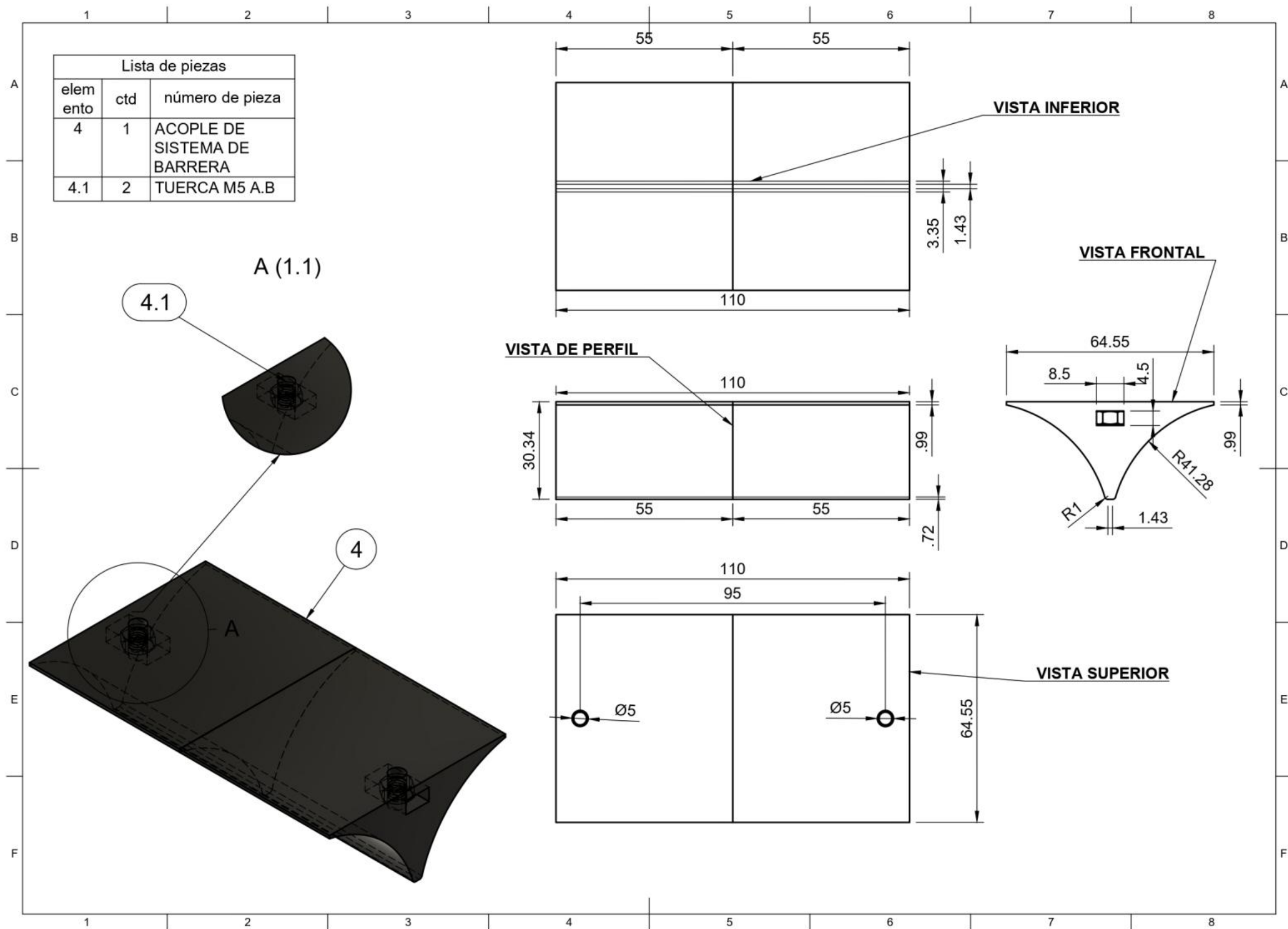
Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona 18/09/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title ENSAMBLE DE SISTEMA FLOTACION DE	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/8

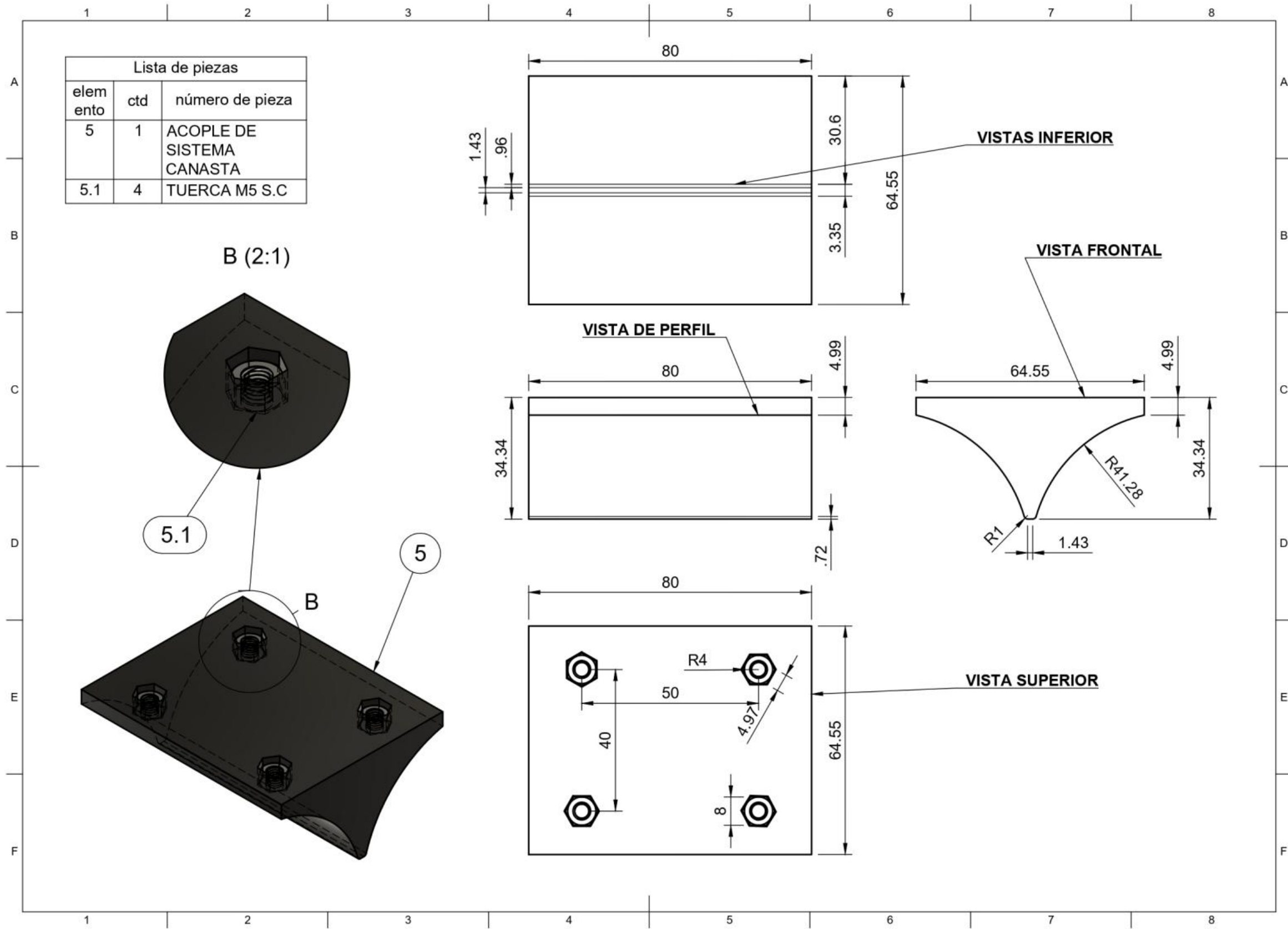


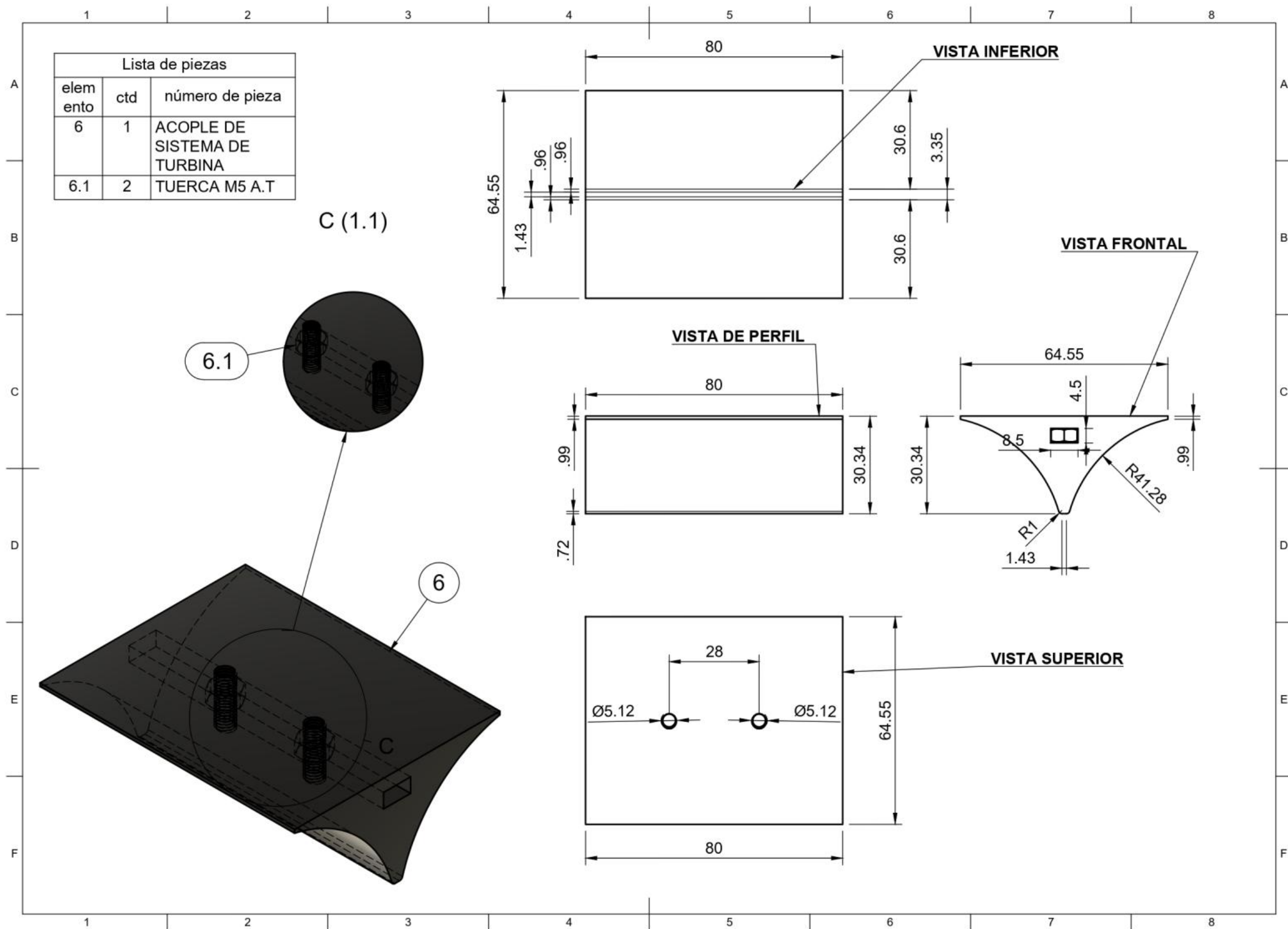






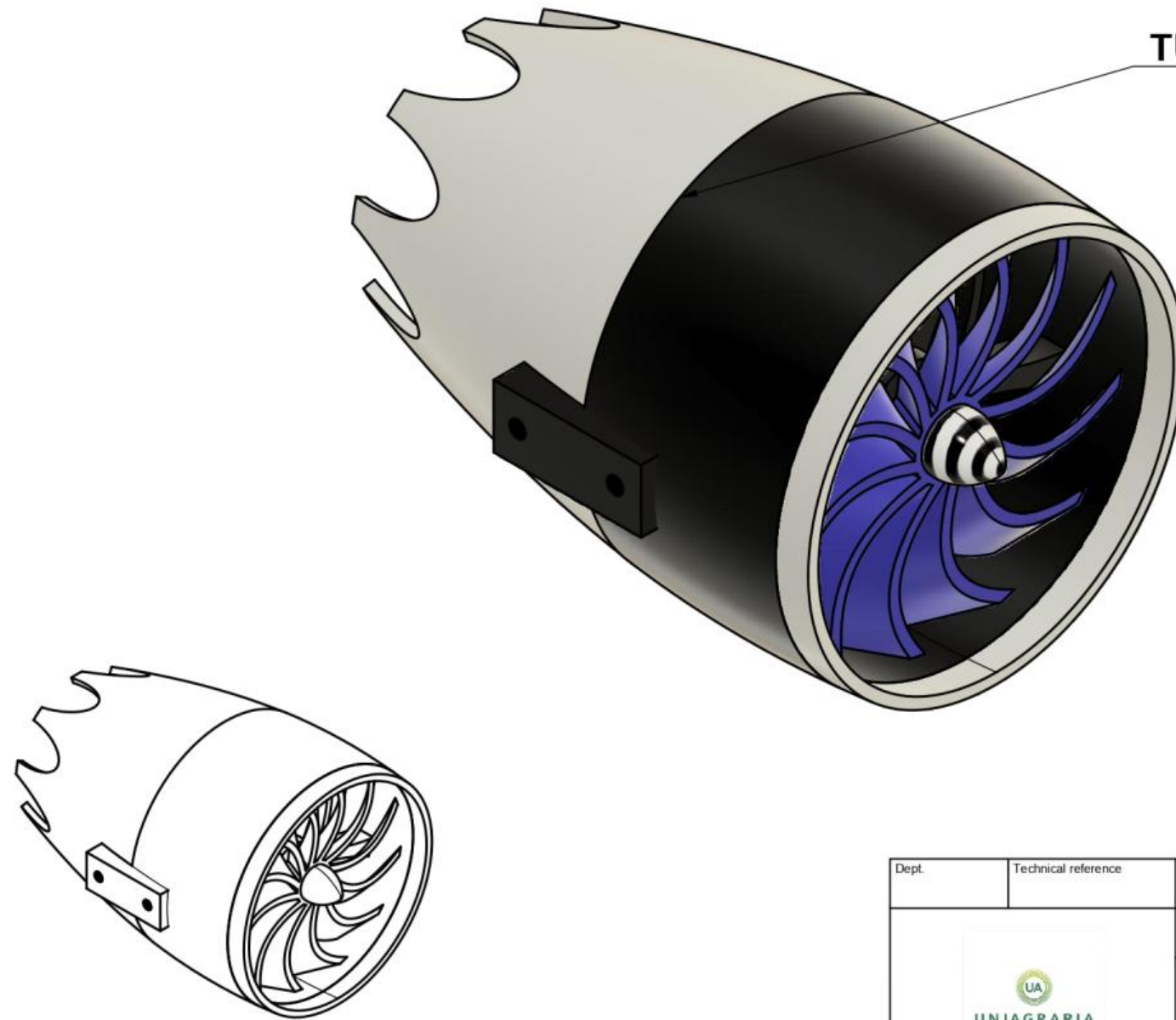





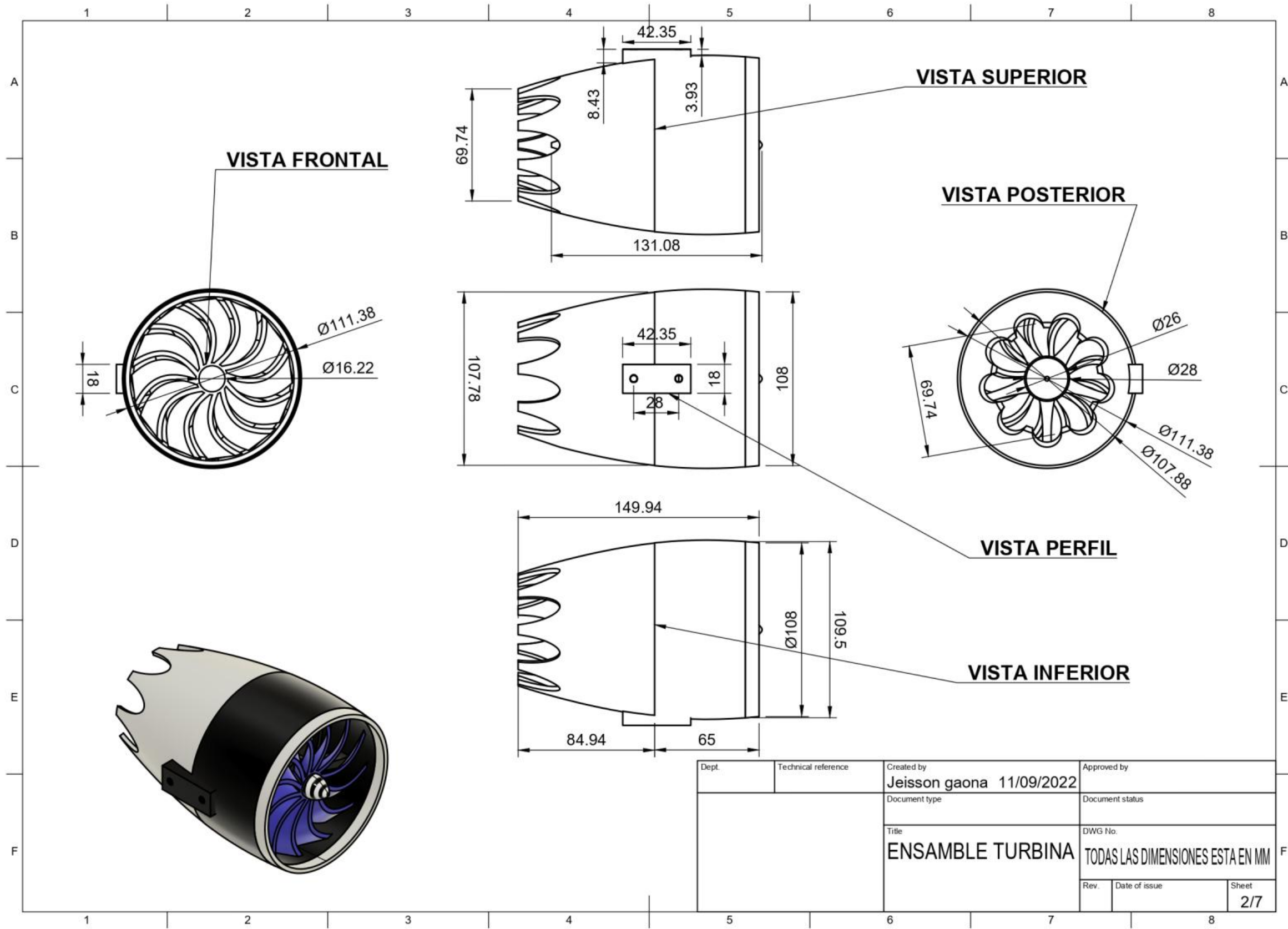


PERSPECTIVA ISOMETRICA

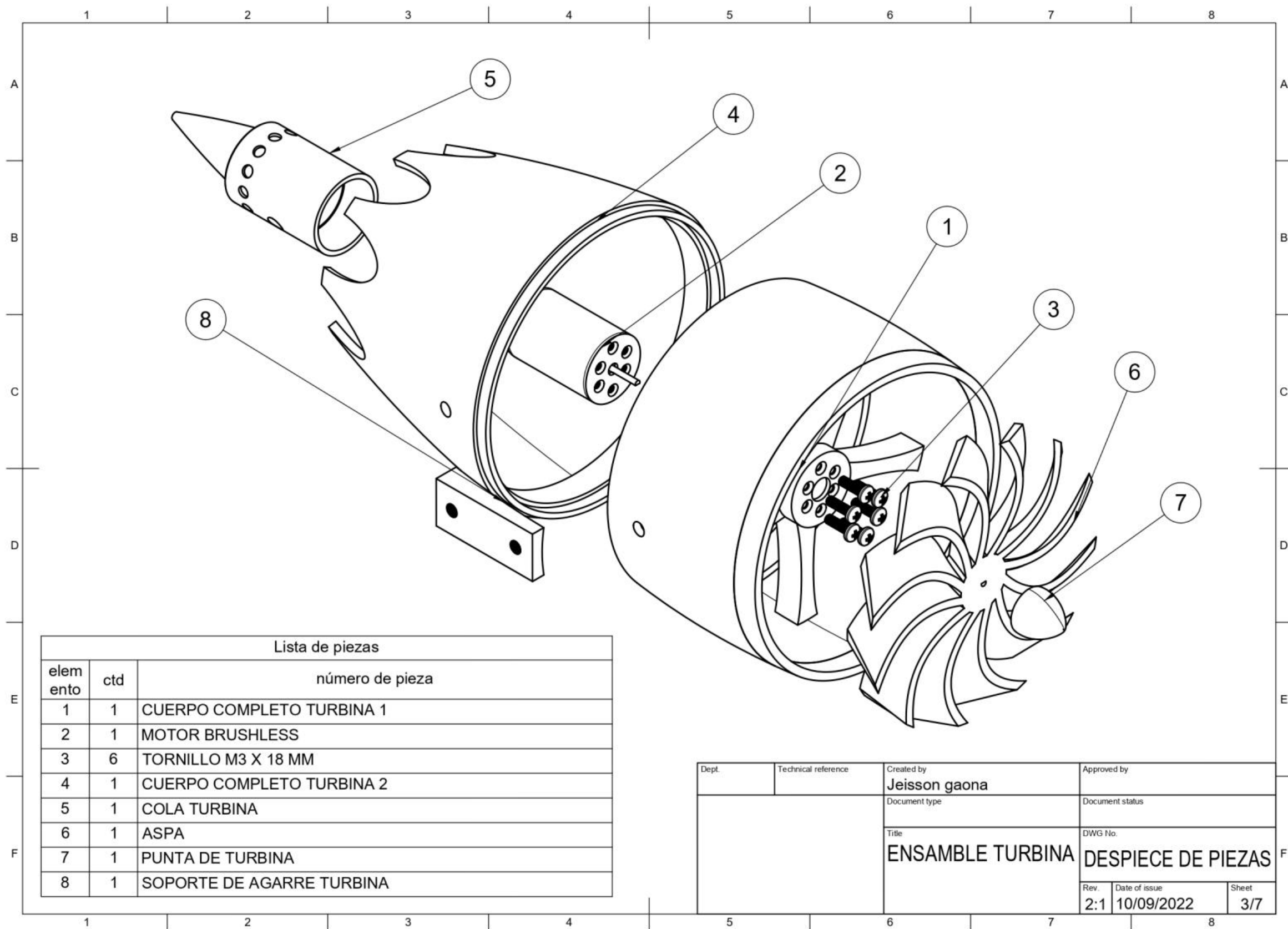
TURBINA ENSAMBLADA



Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by
		Document type	Document status
		Title ENSAMBLE TURBINA	DWG No.
Rev. 1:1	Date of issue	Sheet 1/7	

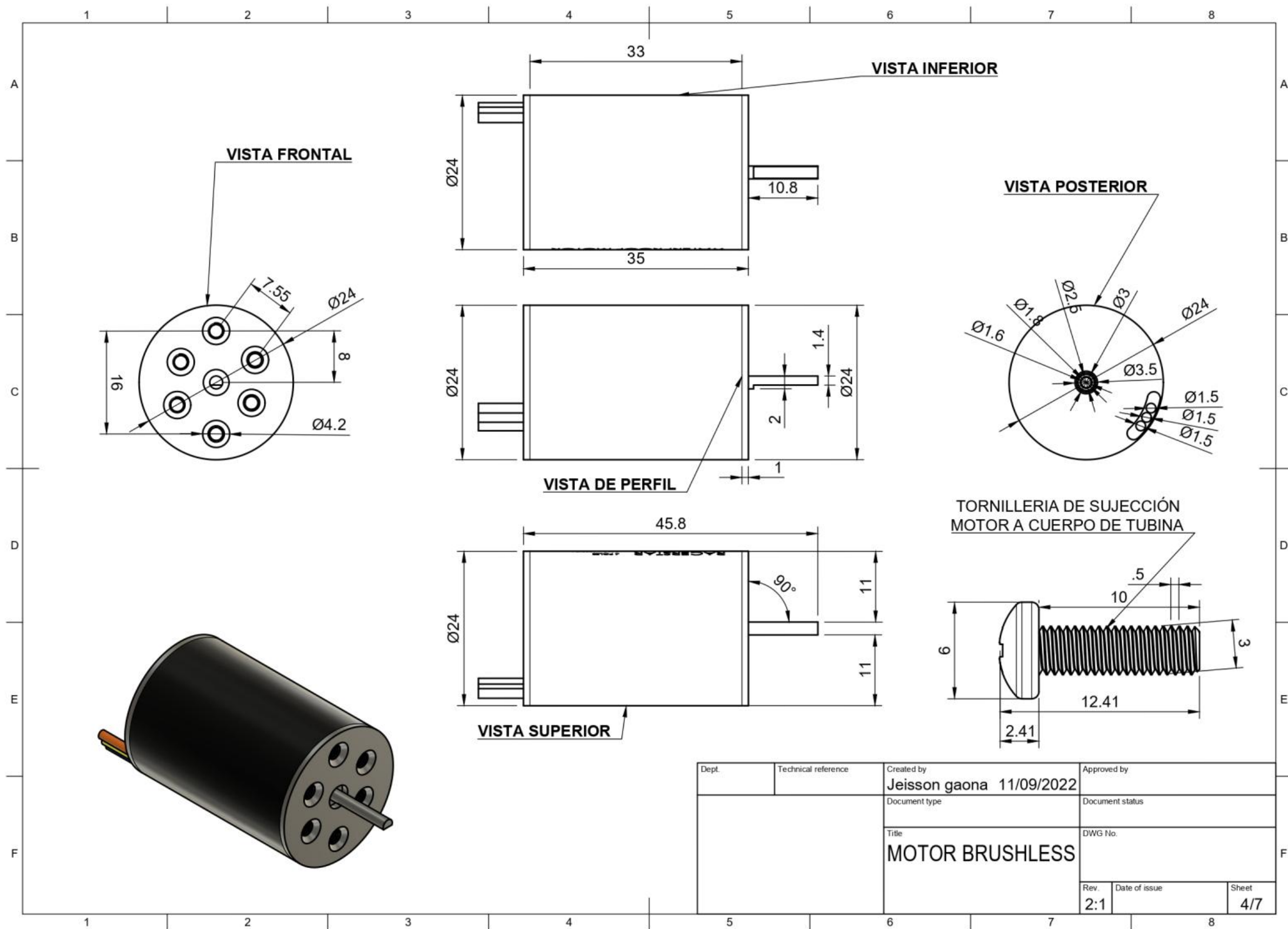


Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona 11/09/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title ENSAMBLE TURBINA	DWG No. TODAS LAS DIMENSIONES ESTA EN MM
		Rev.	Date of issue
		Sheet 2/7	

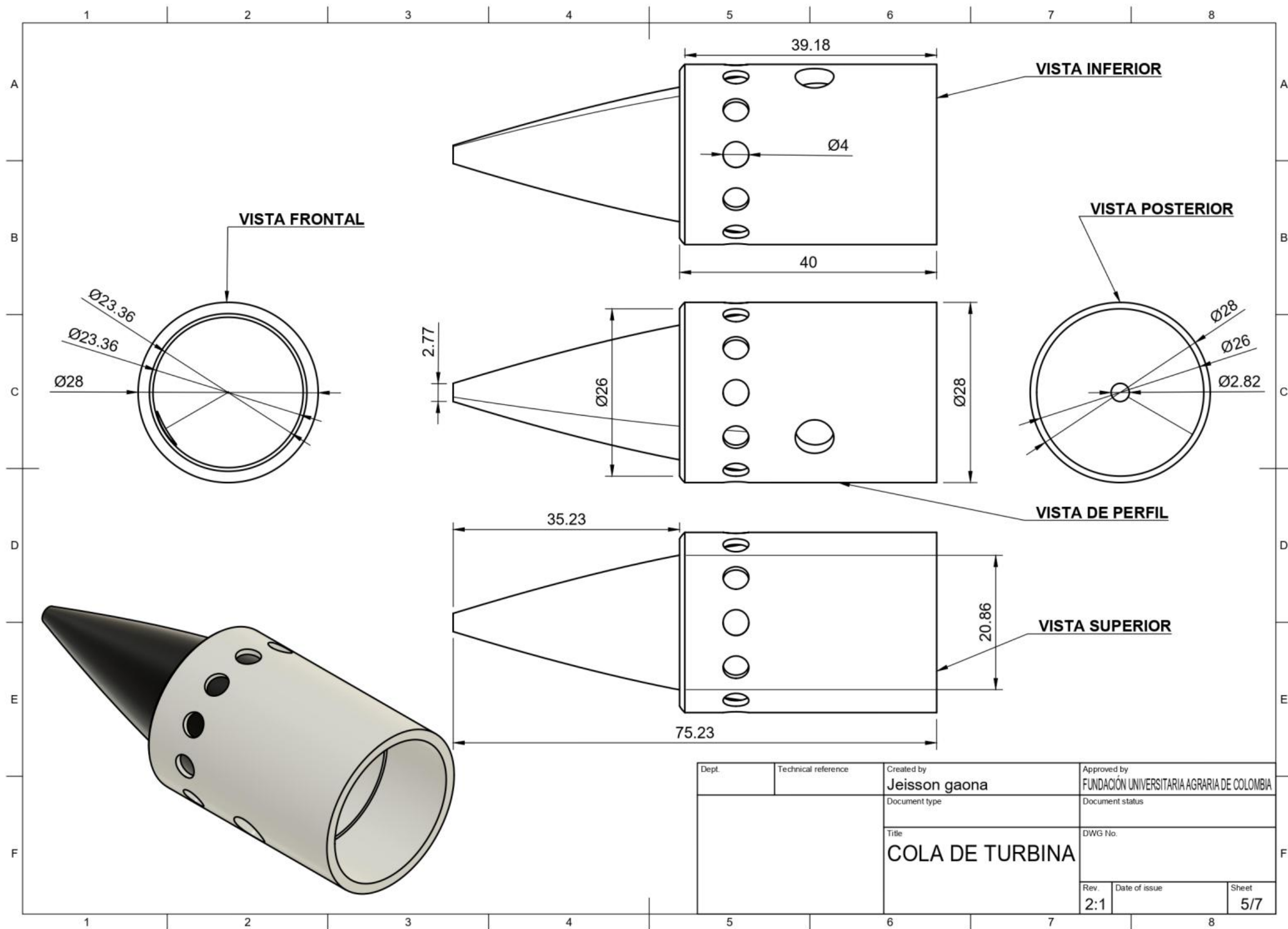


Lista de piezas		
elemento	ctd	número de pieza
1	1	CUERPO COMPLETO TURBINA 1
2	1	MOTOR BRUSHLESS
3	6	TORNILLO M3 X 18 MM
4	1	CUERPO COMPLETO TURBINA 2
5	1	COLA TURBINA
6	1	ASPA
7	1	PUNTA DE TURBINA
8	1	SOPORTE DE AGARRE TURBINA

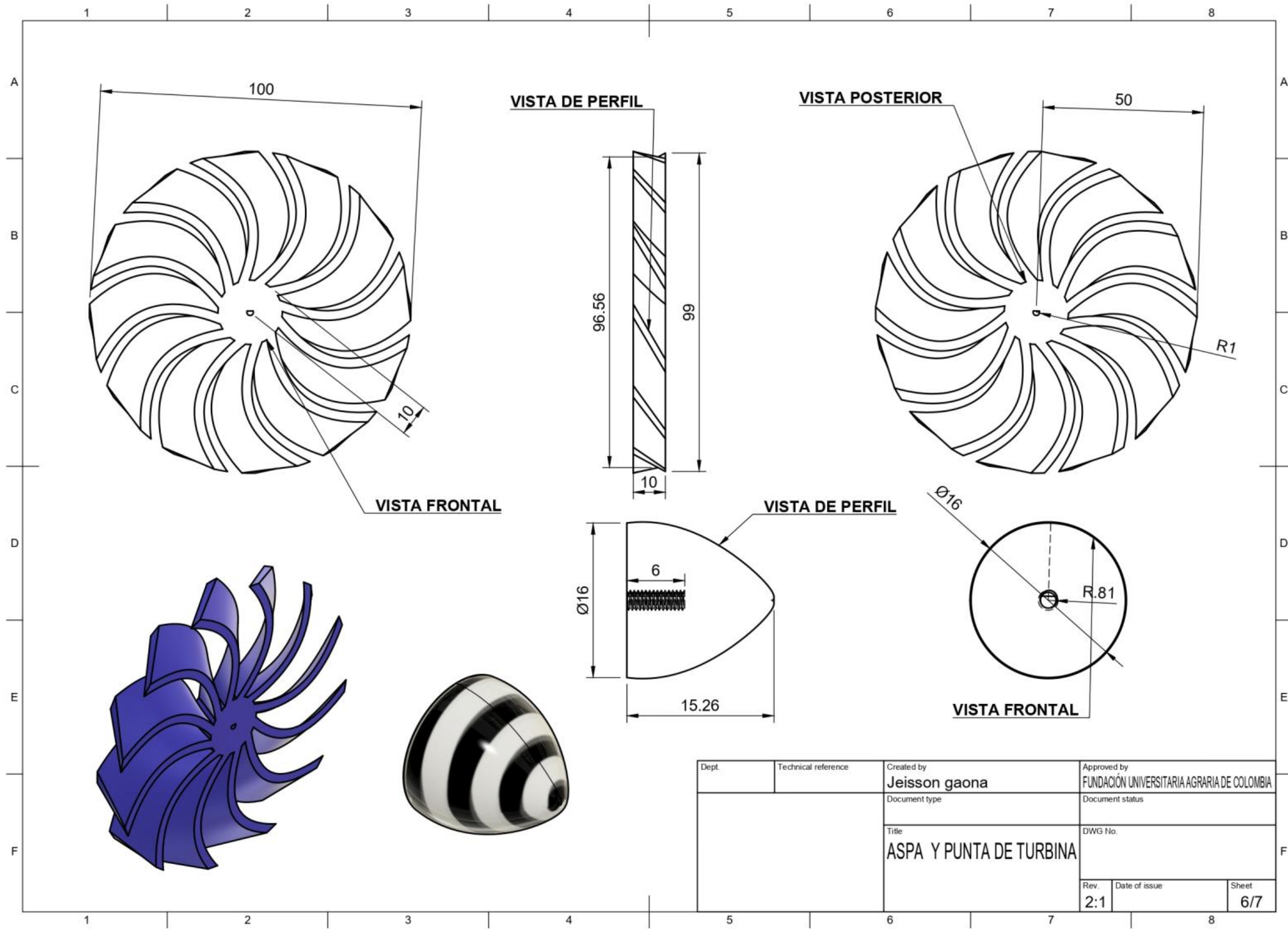
Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by
		Document type	Document status
		Title ENSAMBLE TURBINA	DWG No. DESPIECE DE PIEZAS
		Rev. 2:1	Date of issue 10/09/2022
			Sheet 3/7



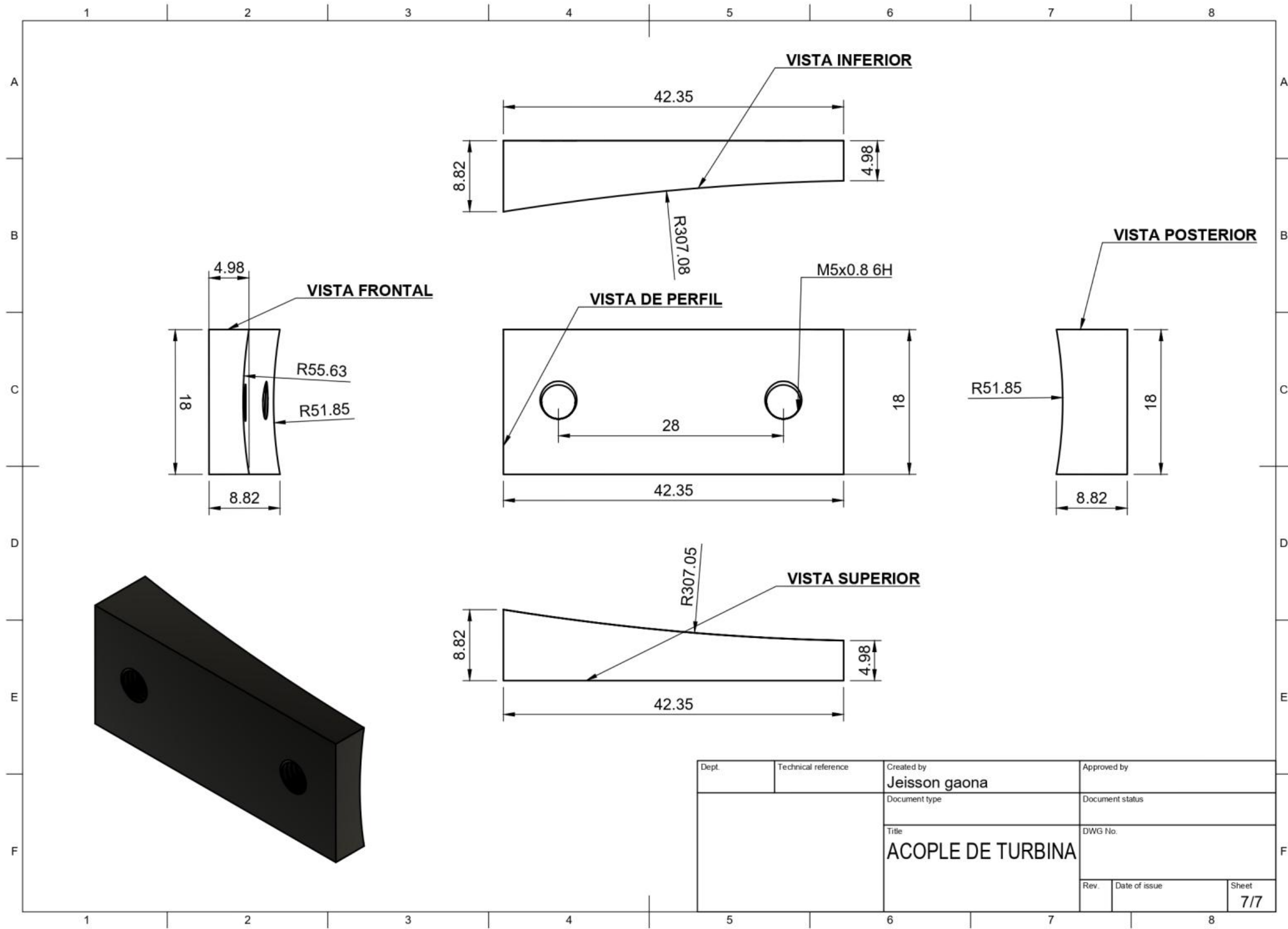
Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona 11/09/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title MOTOR BRUSHLESS	DWG No.
		Rev. 2:1	Date of issue
			Sheet 4/7

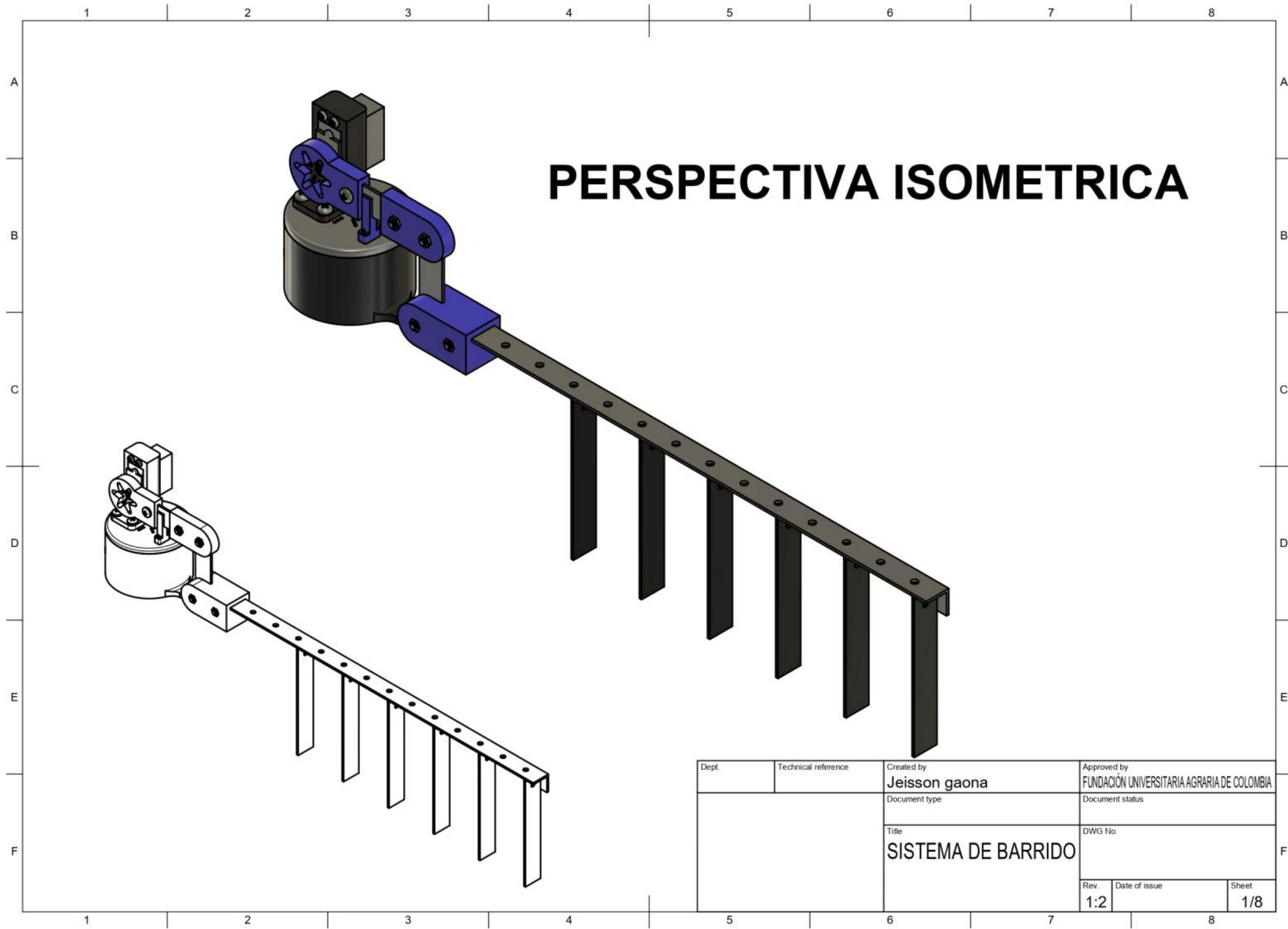


Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title COLA DE TURBINA	DWG No.
		Rev. 2:1	Date of issue
			Sheet 5/7



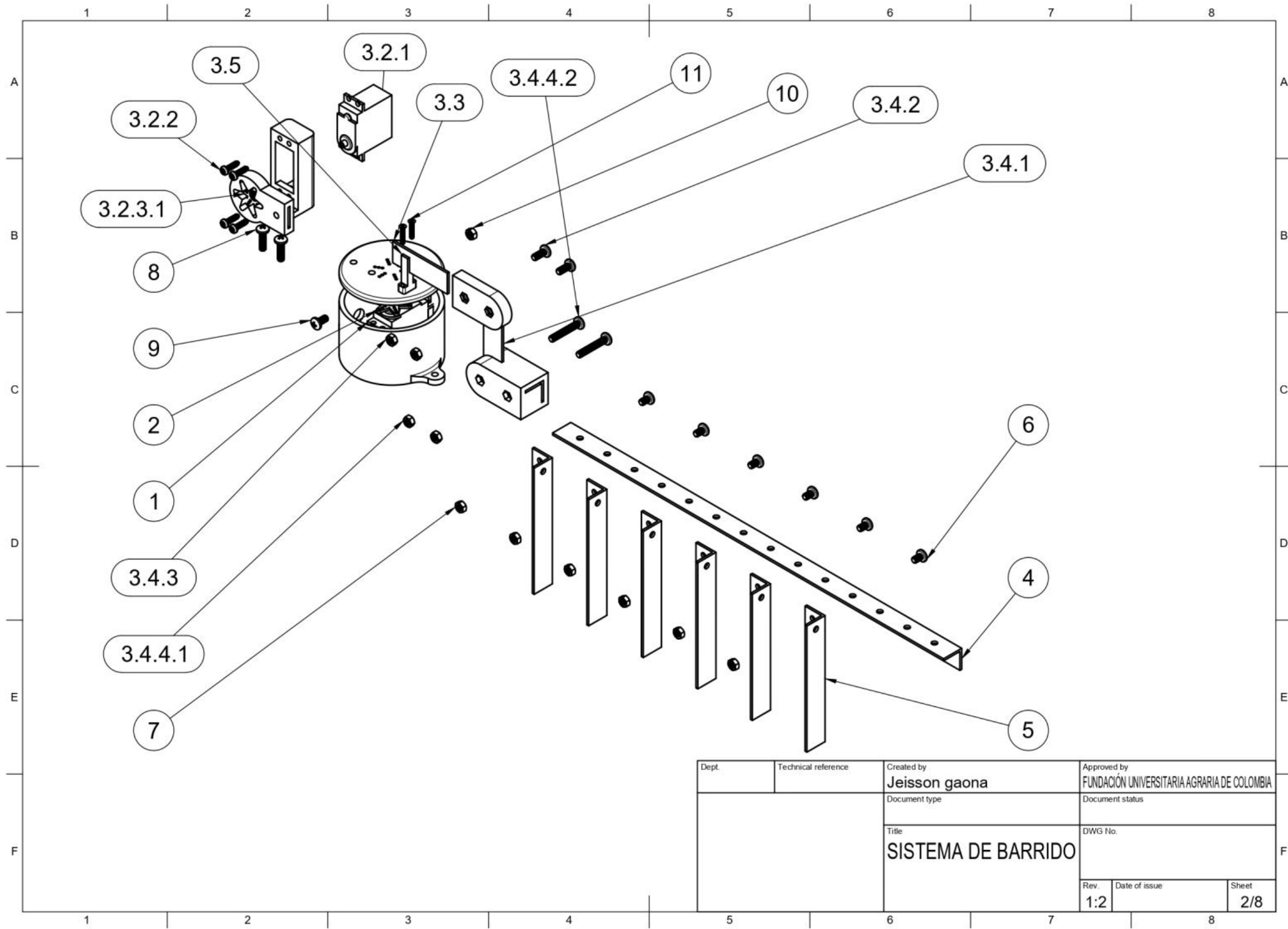
Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title ASPA Y PUNTA DE TURBINA	DWG No.
		Rev. 2:1	Date of issue
			Sheet 6/7





PERSPECTIVA ISOMETRICA

Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title SISTEMA DE BARRIDO	DWG No.
		Rev. 1:2	Date of issue
			Sheet 1/8

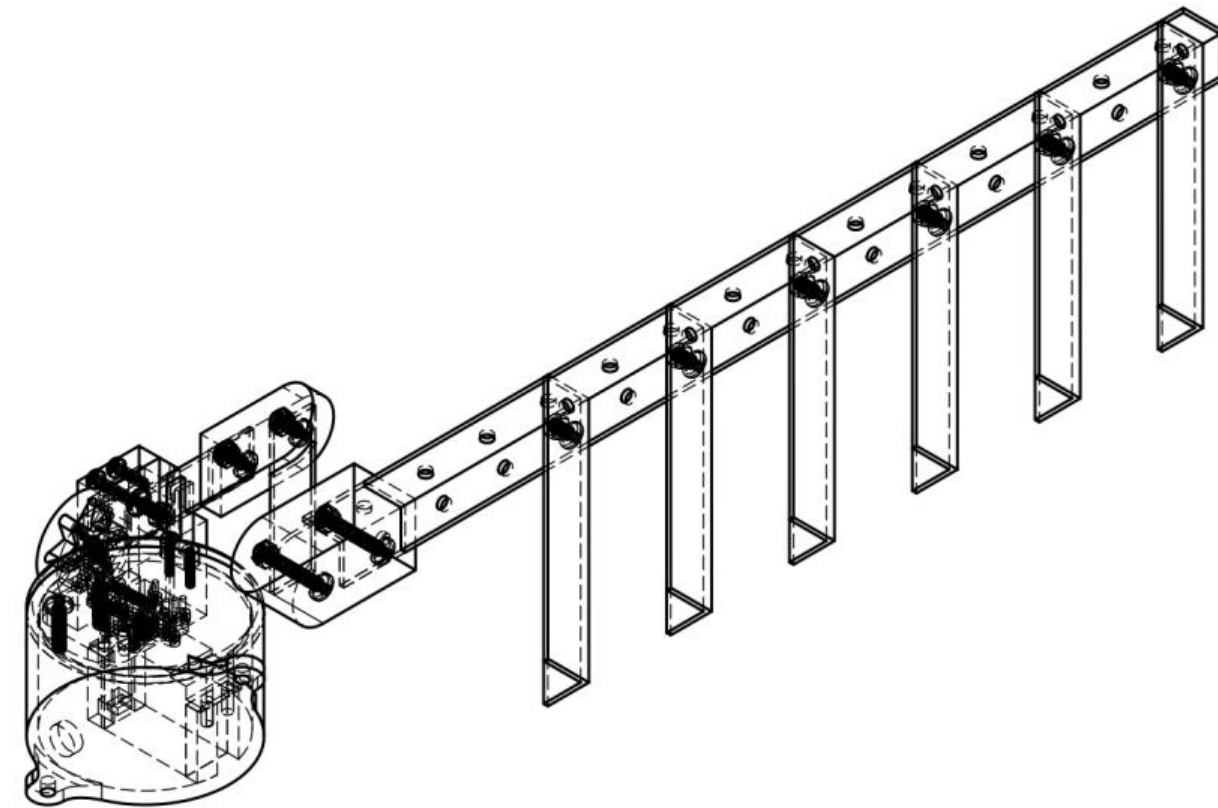


Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title SISTEMA DE BARRIDO	DWG No.
		Rev. 1:2	Date of issue
			Sheet 2/8

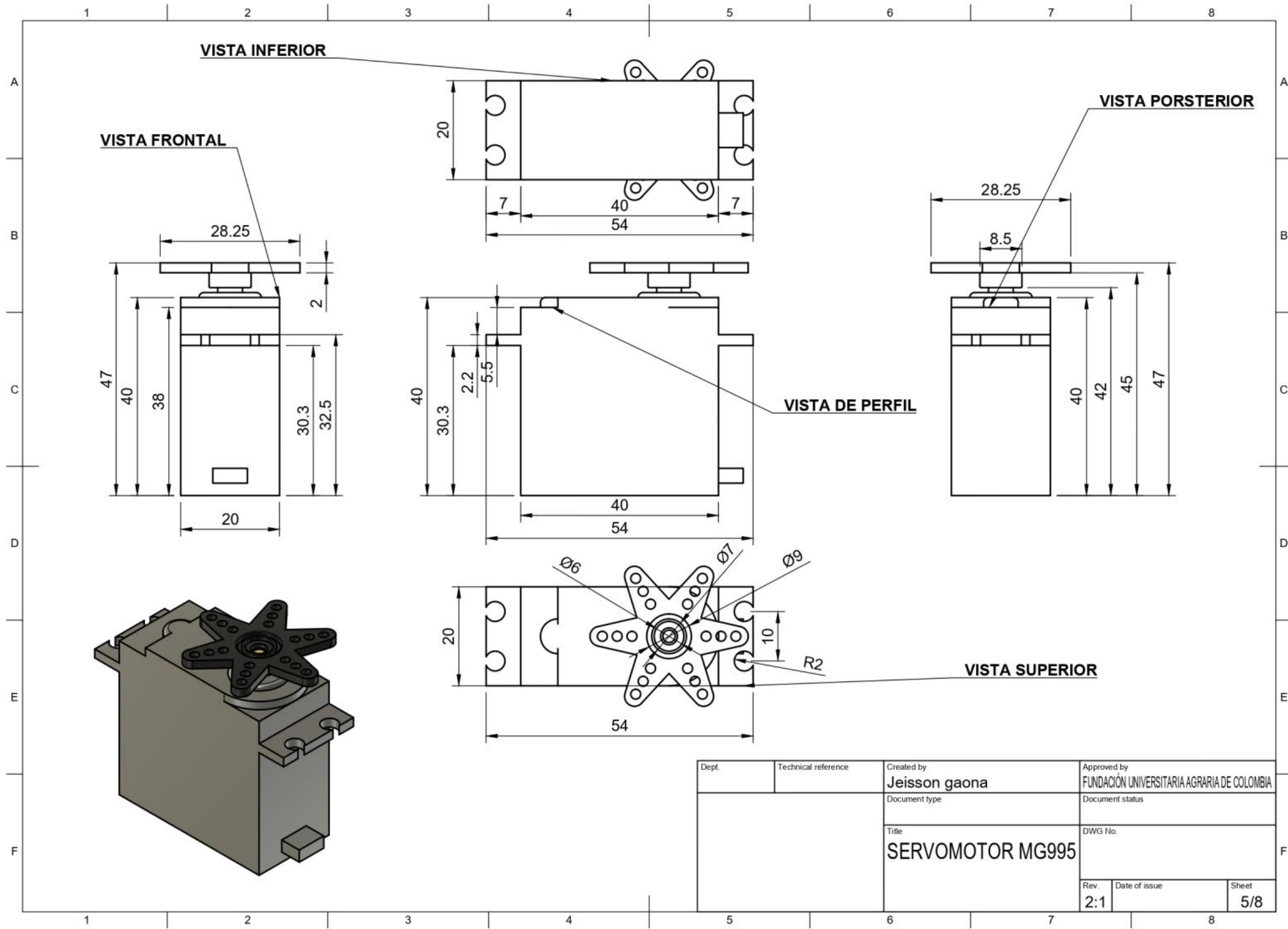
LISTADO DE PARTES

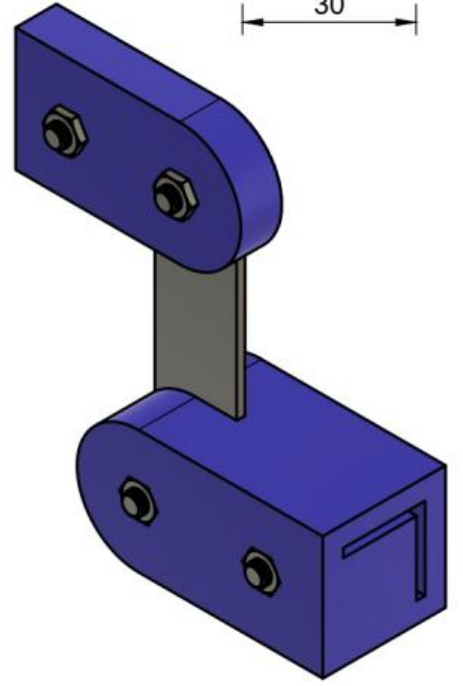
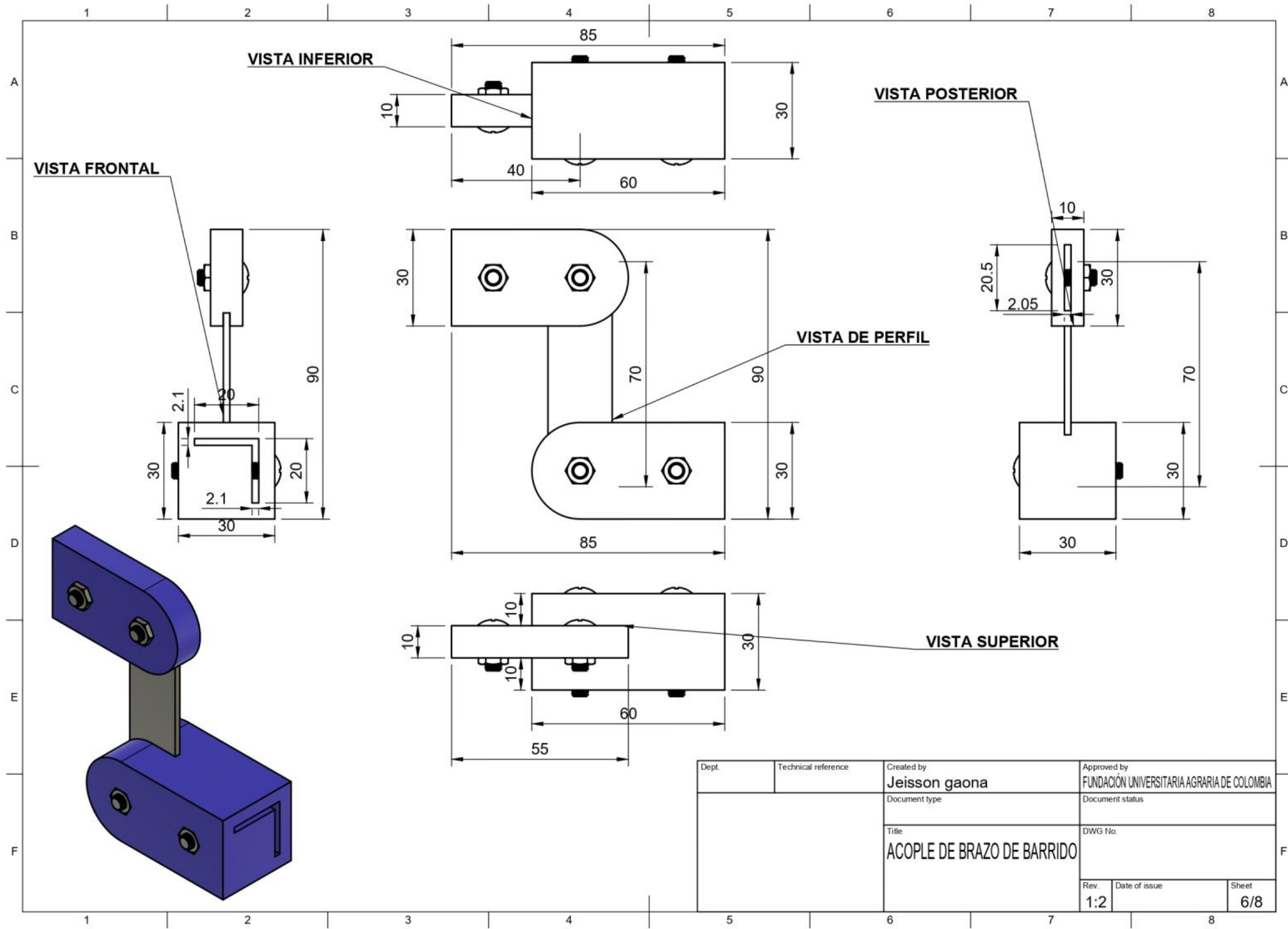
Lista de piezas		
elemento	ctd	número de pieza
1	1	SERVO MG995
2	1	PASADOR SERVO MG995
3	1	TAPA SUPERIOR DER
3.2	1	ACOPLE SERVO
3.2.1	1	SERVO MG995
3.2.2	4	TORNILLO M4 15MM
3.2.3	1	ACOPLE BRAZO
3.2.3.1	1	PASADOR SERVO MG995
3.3	1	PERFIL PLANO 20X2MM (60MM)
3.4	1	ACOPLE DE BRAZO 2
3.4.1	1	PERFIL PLANO 20X2MM (70MM)
3.4.2	2	TORNILLO M5 X 12MM
3.4.3	2	TUERCA M5

Lista de piezas		
elemento	ctd	número de pieza
3.4.4	1	ACOPLE DE BRAZO 3
3.4.4.1	2	TUERCA M5
3.4.4.2	2	TORNILLO M5 X 30MM
3.5	1	SOPORTE DE BRAZO
4	1	Angulo de 20x20 de 2mm (430MM)
5	6	Angulo de 20x20 de 2mm (120mm)
6	6	TORNILLO M5 X 8MM
7	6	TUERCA M5
8	2	TORNILLO M5 X 18MM
9	1	TORNILLO M5 X10 MM
10	1	TUERCA M5
11	2	TRONILLO M3 X 16MM

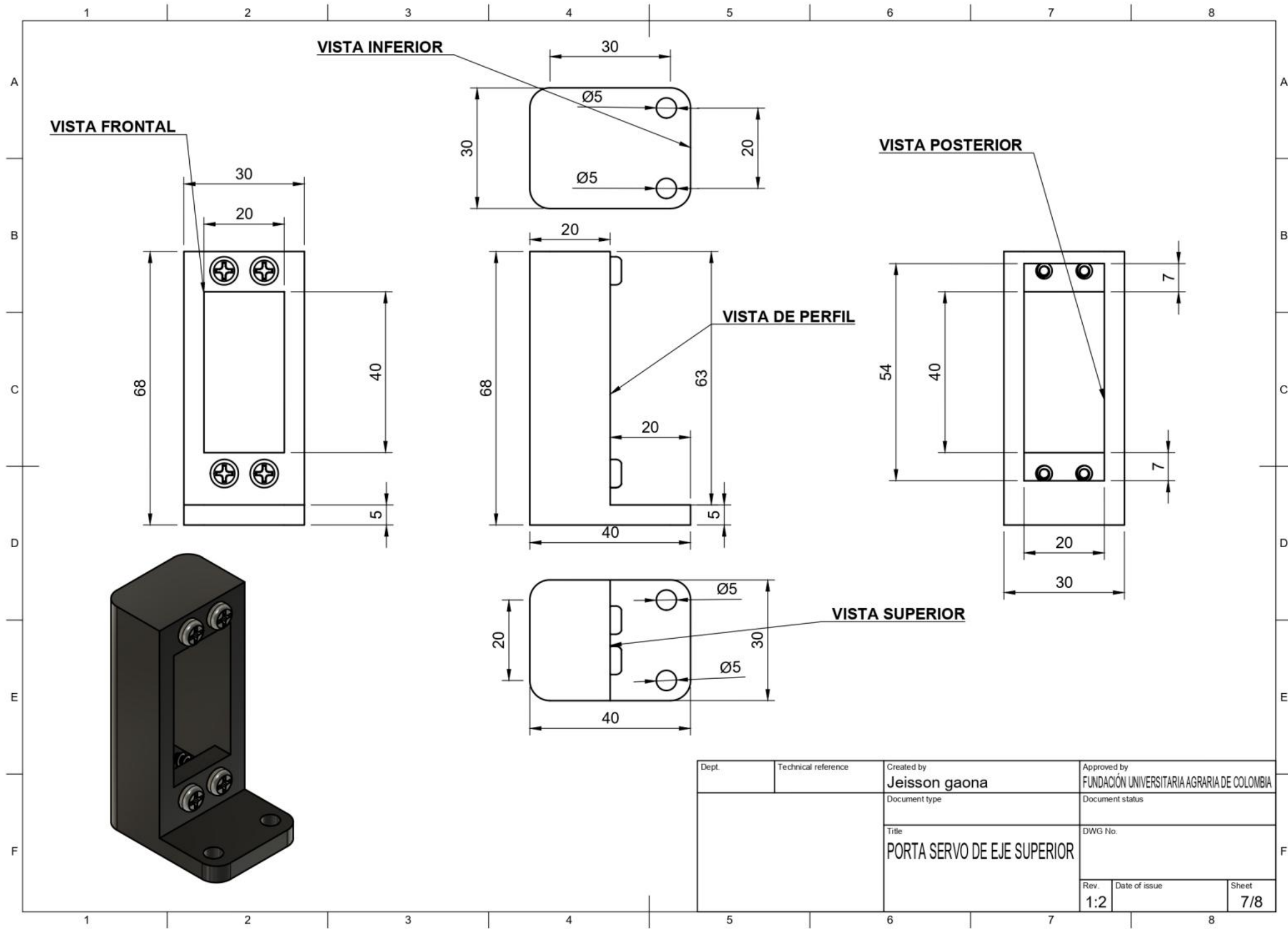


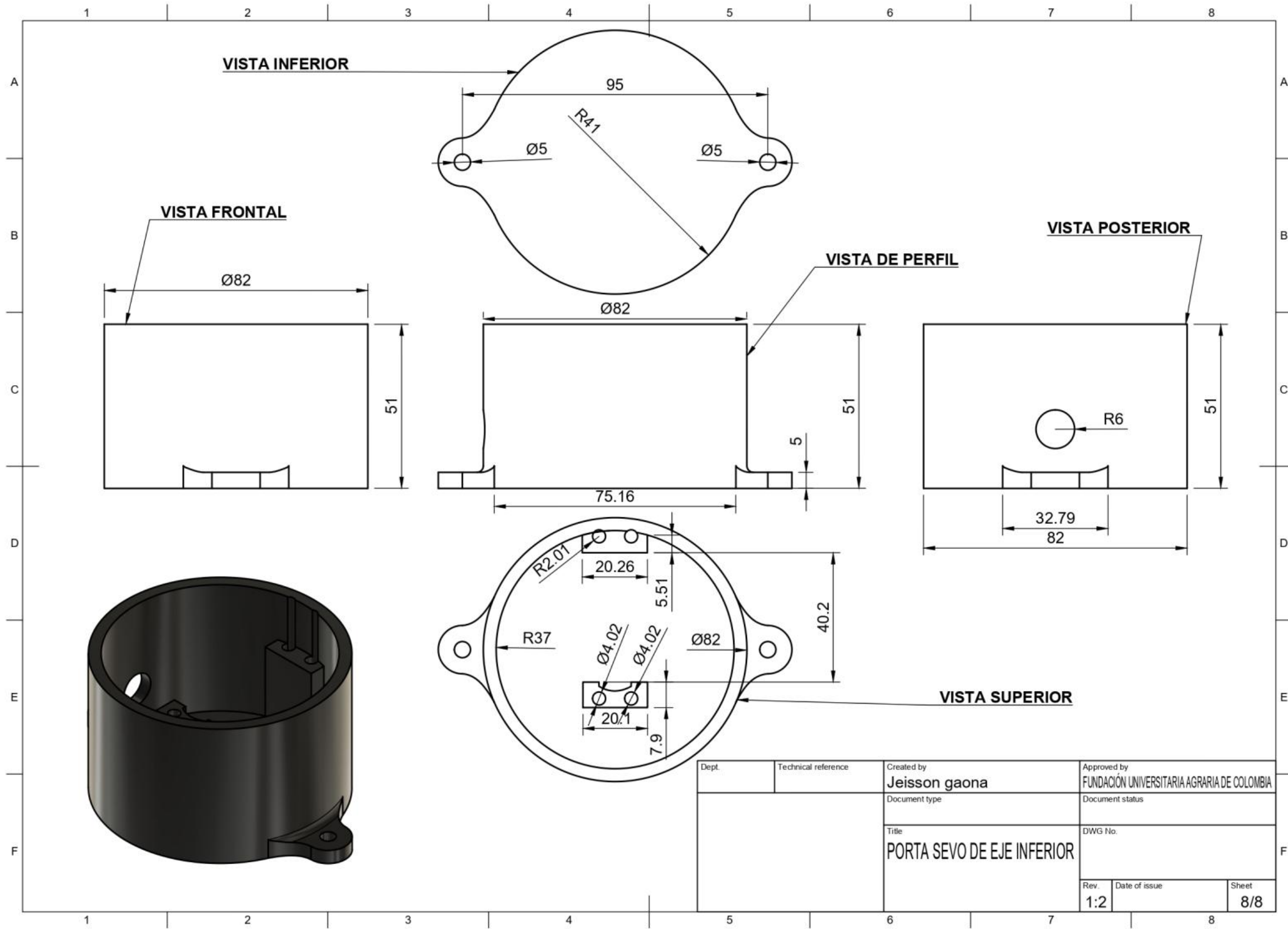
Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title SISTEMA DE BARRIDO	DWG No.
		Rev. 1:2	Date of issue
			Sheet 3/8





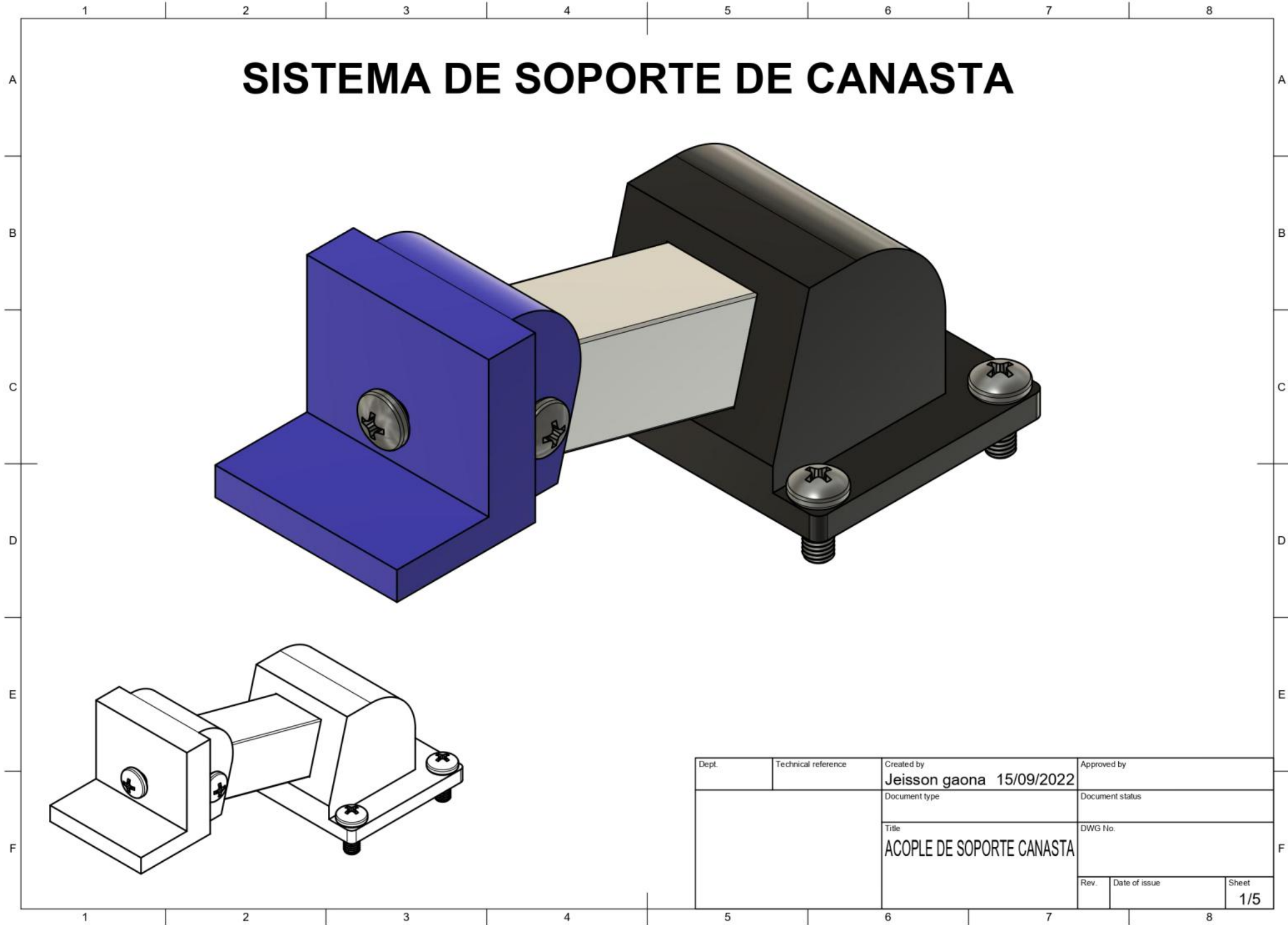
Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title ACOPLE DE BRAZO DE BARRIDO	DWG No.
		Rev. 1:2	Date of issue
			Sheet 6/8



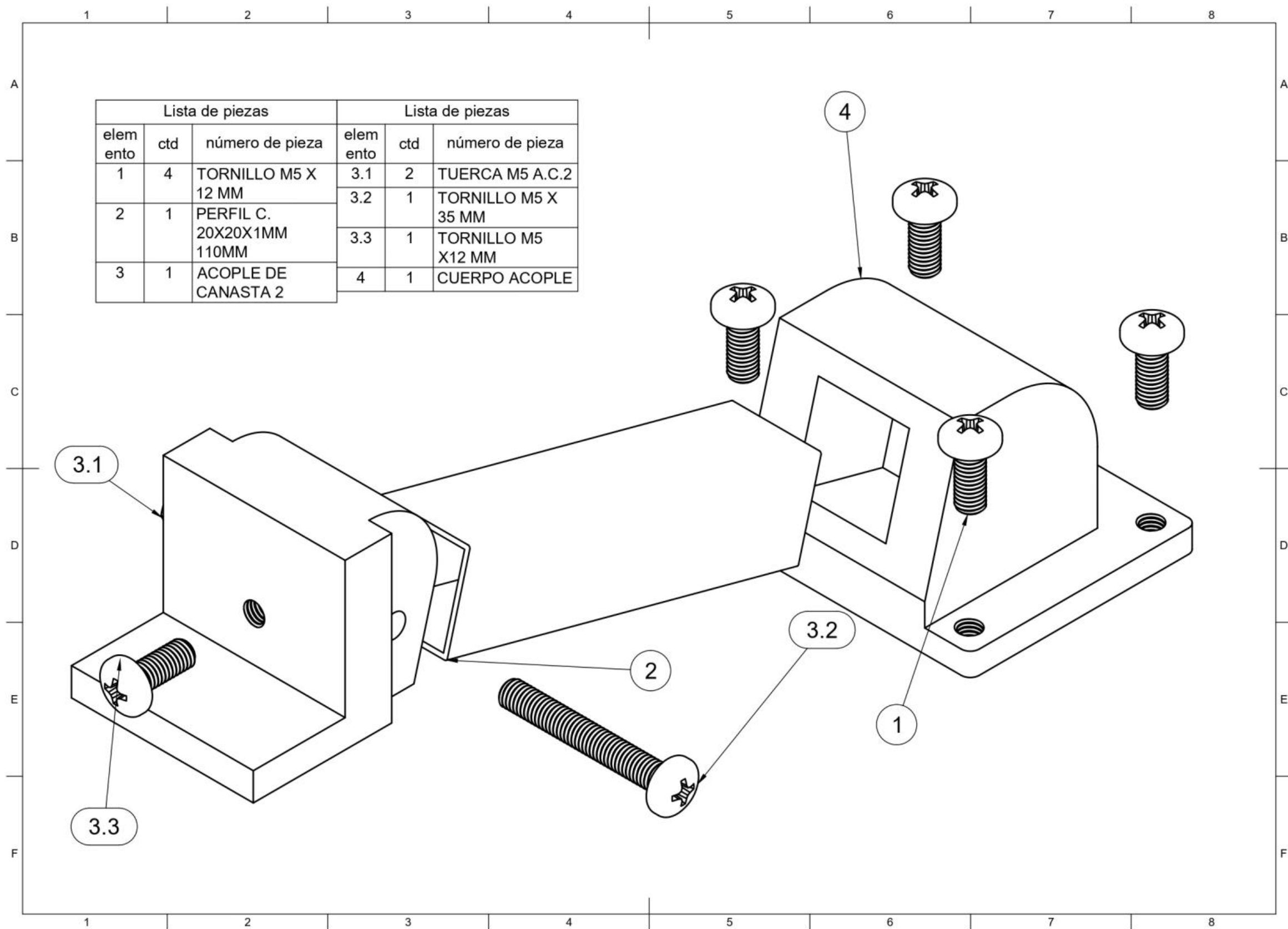


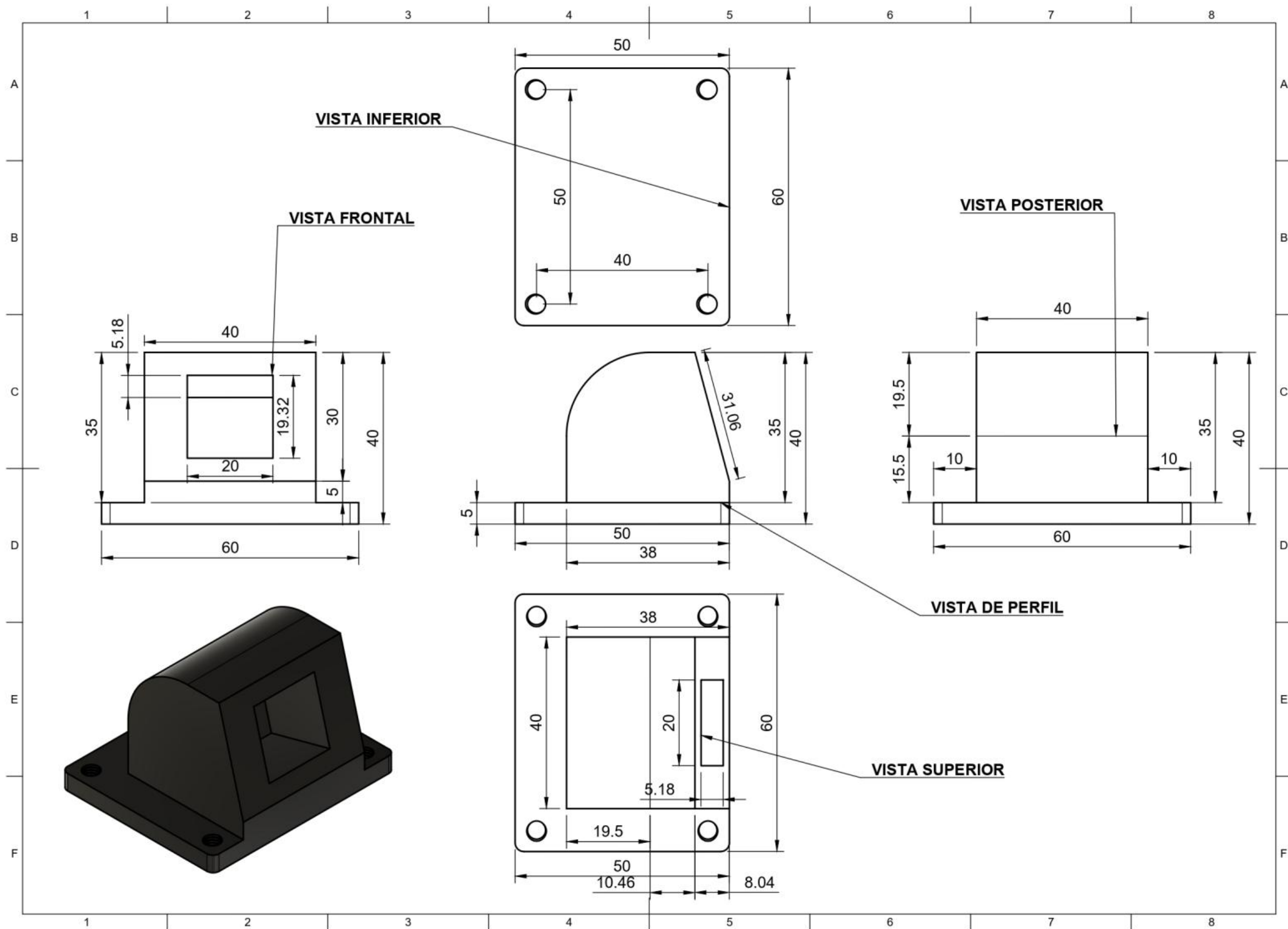
Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona	Approved by FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
		Document type	Document status
		Title PORTA SEVO DE EJE INFERIOR	DWG No.
		Rev. 1:2	Date of issue
			Sheet 8/8

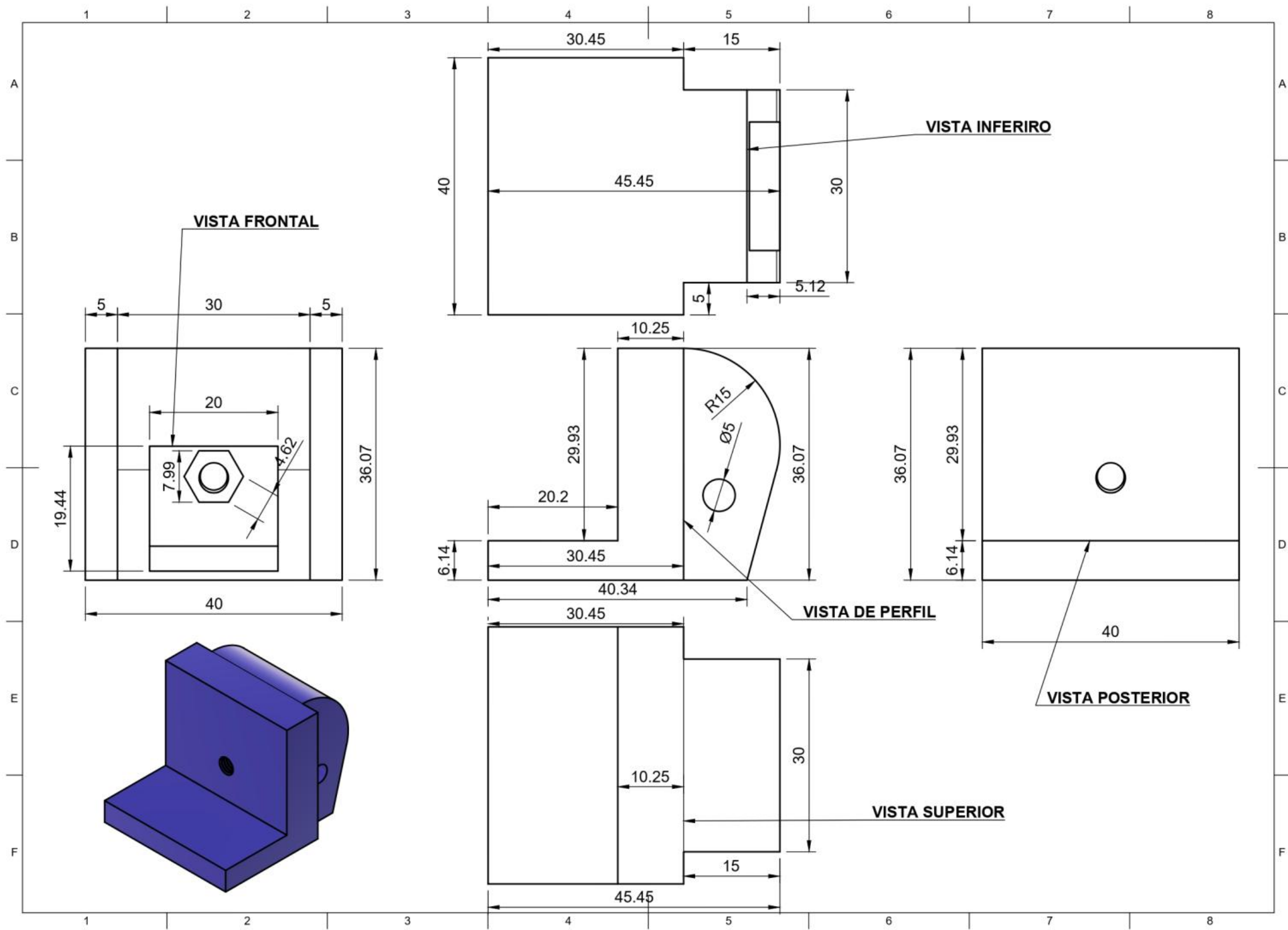
SISTEMA DE SOPORTE DE CANASTA

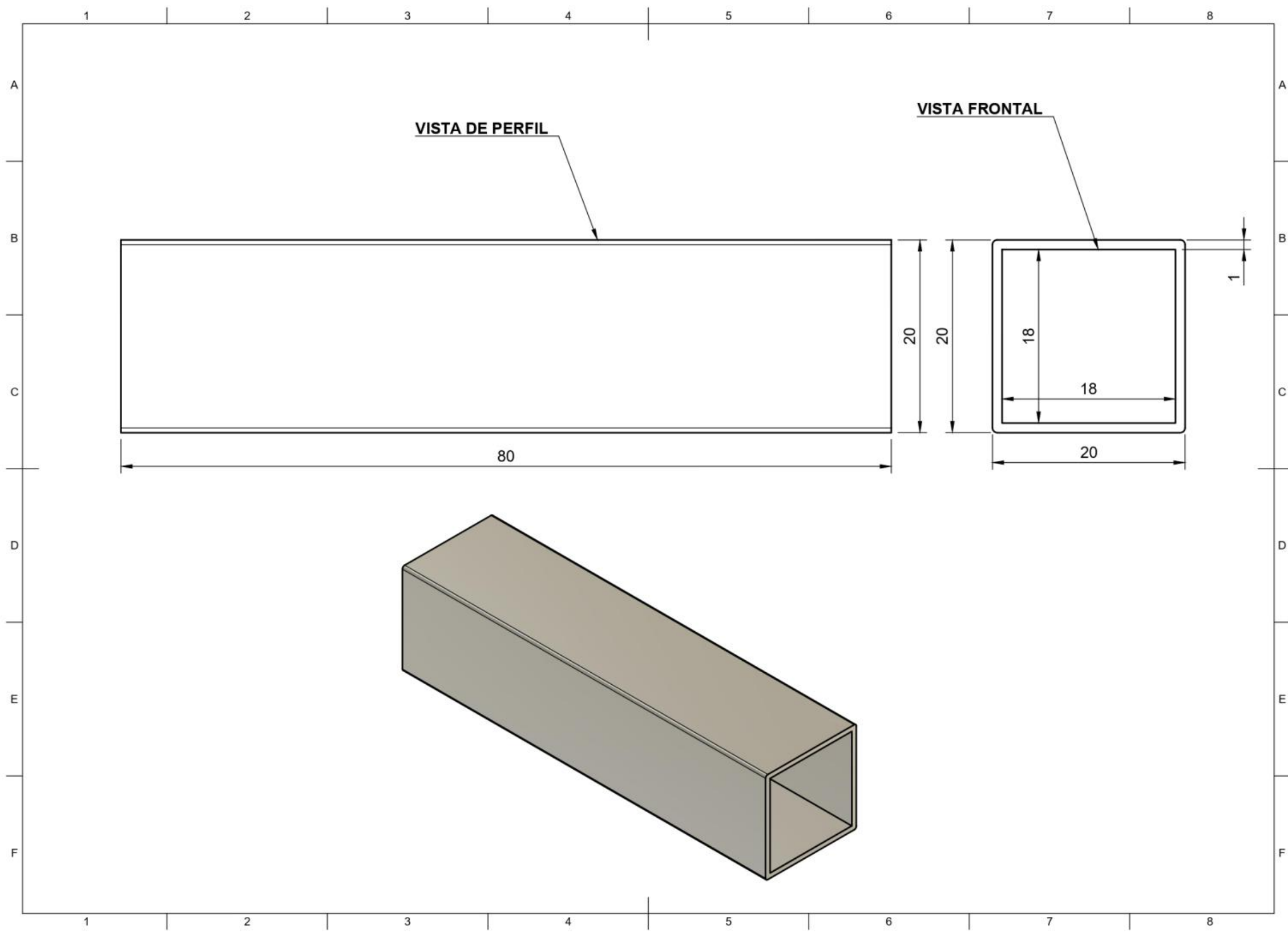


Dept.	Technical reference	Created by Jeisson gaona 15/09/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title ACOPLE DE SOPORTE CANASTA	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/5

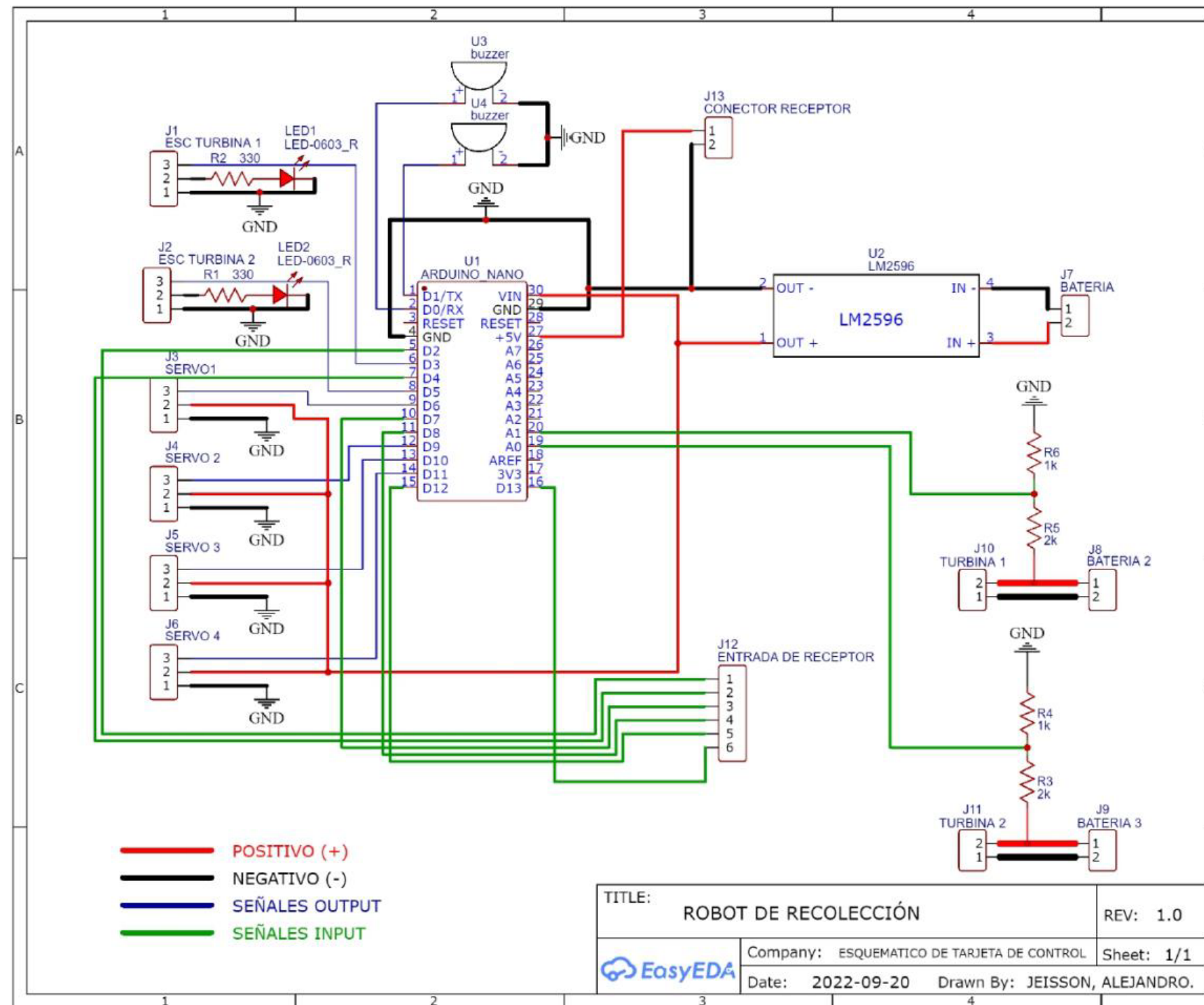


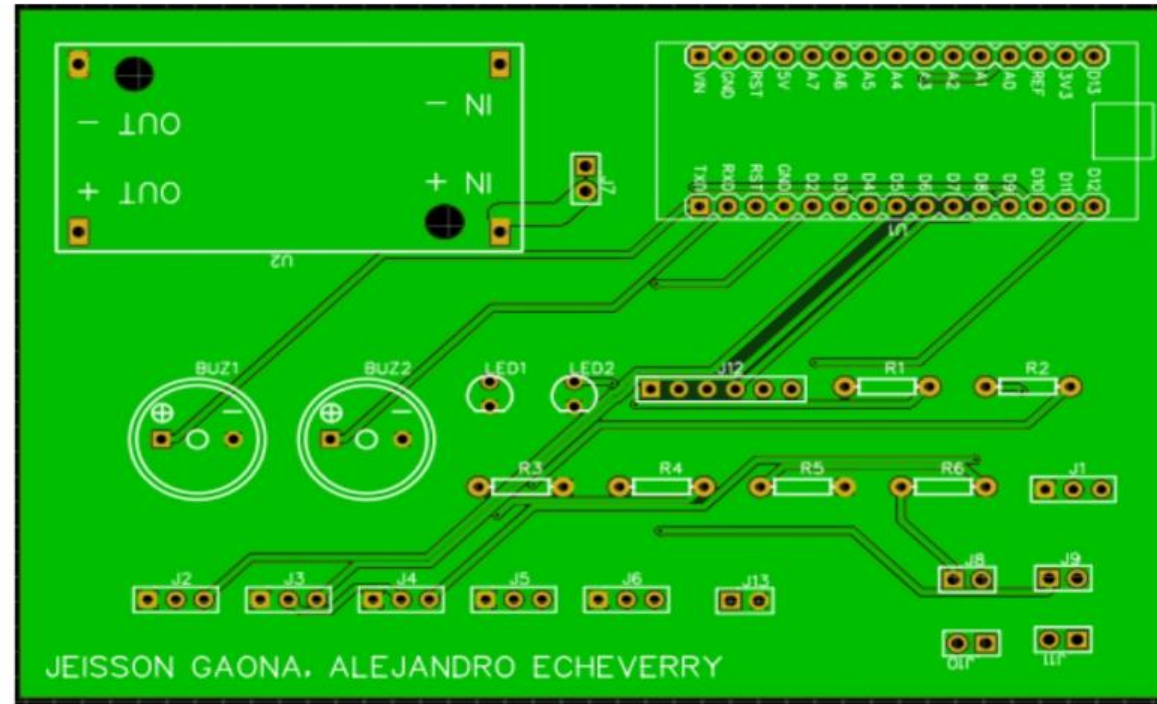


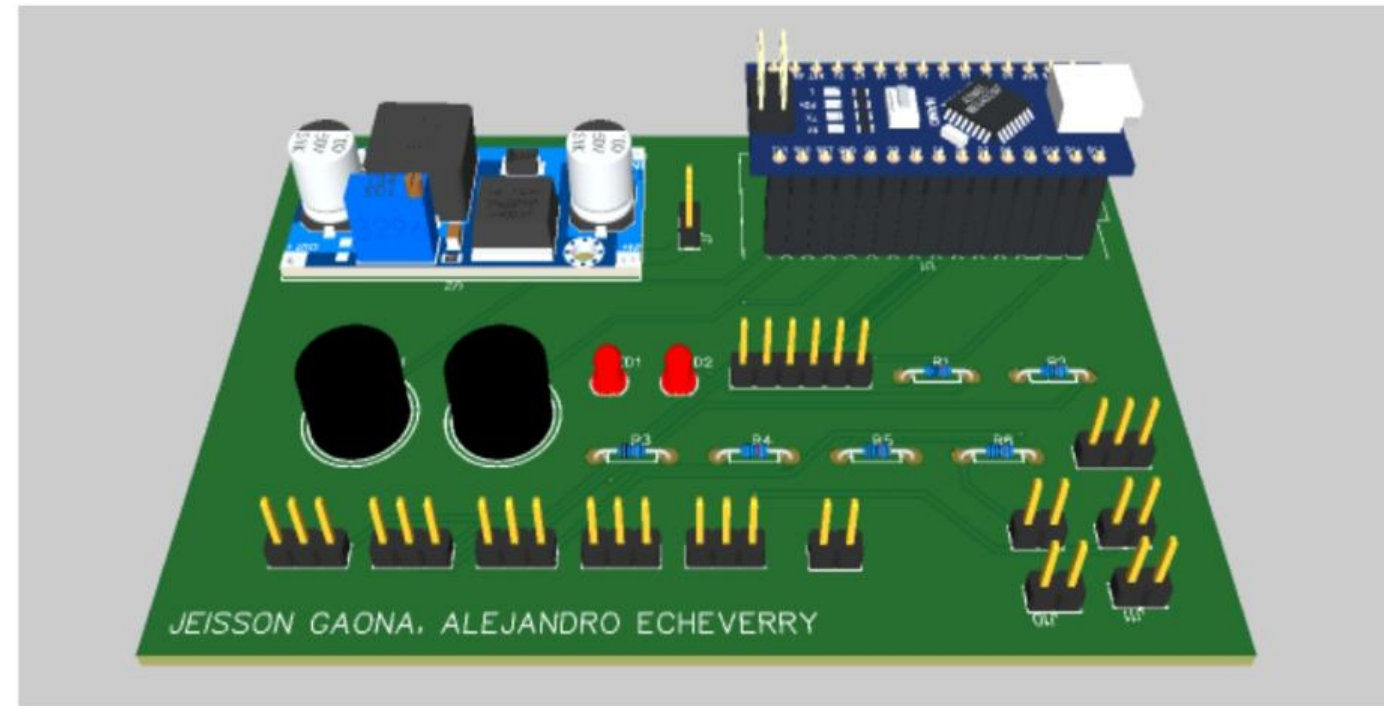




14.6. ANEXO 6. PLANOS DE DISEÑO ELECTRONICO DEL ROBOT.







14.7. ANEXO 7. TIEMPO Y COSTOS DE CADA PIEZA IMPRESA.

Se presenta una tabla que relaciona cada pieza de impresión, su peso, tiempo de impresión, filamento usado y el precio en términos de energía eléctrica.

PIEZA IMPRESA	TIEMPO	PESO (GRAMOS)	METROS DE FILAMENTOS	PRECIO (energía)
ACOPLE DE SERVO	6:15:00	43	14,46	\$ 6.375
ACOPLE DE SERVO GIRO	1:30:00	11	3,74	\$ 1.530
ACOPLE DE BASE DE SERVO	7:12:00	50	16,79	\$ 7.344
ACOPLE DE SERVO GIRO	1:30:00	11	3,74	\$ 1.530
ACOPLE DE BRAZO Y SOPORTE	3:55:00	23	7,84	\$ 3.995
ACOPLE DE BRAZO IZQ	3:17:00	24	8,02	\$ 3.349
ACOPLE DE BASE DE SERVO	7:12:00	50	16,79	\$ 7.344
TAPA DE SERVO BASE DER	2:36:00	23	7,72	\$ 2.652
TAPA DE SERVO BASE IZQ	2:36:00	23	7,72	\$ 2.652
ACOPLE DE BRAZO DER	3:17:00	24	8,02	\$ 3.349
ACOPLE DE SSITEMA DE CANASTA 1	2:11:00	18	5,88	\$ 2.227
ACOPLE DE SSITEMA DE CANASTA 1	2:11:00	18	5,88	\$ 2.227
ACOPLE DE SSITEMA DE CANASTA 1	2:11:00	18	5,88	\$ 2.227
ACOPLE DE SSITEMA DE CANASTA 1	2:11:00	18	5,88	\$ 2.227
ACOPLE DE SSITEMA DE CANASTA 2	2:12:00	18	5,92	\$ 2.244
ACOPLE DE SSITEMA DE CANASTA 2	2:12:00	18	5,92	\$ 2.244
ACOPLE DE SSITEMA DE CANASTA 2	2:12:00	18	5,92	\$ 2.244
ACOPLE DE SSITEMA DE CANASTA 2	2:12:00	18	5,92	\$ 2.244
ACOPLE DE ANGULOS	5:44:00	54	18,12	\$ 5.848
ACOPLE DE ANGULOS	5:44:00	54	18,12	\$ 5.848
ACOPLE DE ANGULOS	5:44:00	54	18,12	\$ 5.848
ACOPLE DE ANGULOS	5:44:00	54	18,12	\$ 5.848
CUERPO TURBINA 1	9:30:00	67	22,6	\$ 9.690
CUERPO TURBINA 2	7:33:00	54	17,99	\$ 7.701
CUERPO TURBINA 1	9:30:00	67	22,6	\$ 9.690
CUERPO TURBINA 2	7:33:00	54	17,99	\$ 7.701
CIERRES DE PERFIL	2:06:00	13	4,43	\$ 2.142
ACOPLES DE FLOTADORES 1.1	18:43:00	126	42,42	\$ 19.091
ACOPLES DE FLOTADORES 1.2	18:43:00	126	42,42	\$ 19.091
ACOPLES DE FLOTADORES 2.1	14:38:00	100	33,41	\$ 14.926
ACOPLES DE FLOTADORES 2.2	14:38:00	100	33,41	\$ 14.926
ACOPLES DE FLOTADORES 1.3	16:24:00	104	34,88	\$ 16.728
ACOPLES DE FLOTADORES 1.4	16:24:00	104	34,88	\$ 16.728
ACOPLES DE FLOTADORES 2.3	17:34:00	126	42,26	\$ 17.918
ACOPLES DE FLOTADORES 2.4	10:06:00	126	42,26	\$ 10.302
ACOPLE DE CANASTA 1	1:45:00	18	6,01	\$ 1.785
ACOPLE DE CANASTA 2	1:45:00	18	6,01	\$ 1.785
ACOPLE DE CANASTA 3	1:45:00	18	6,01	\$ 1.785
ACOPLE DE CANASTA 4	1:45:00	18	6,01	\$ 1.785
ACOPLE DE BASE DE CANASTA 1	2:31:00	28	9,47	\$ 2.567
ACOPLE DE BASE DE CANASTA 2	2:31:00	28	9,47	\$ 2.567
ACOPLE DE BASE DE CANASTA 3	2:31:00	28	9,47	\$ 2.567
ACOPLE DE BASE DE CANASTA 4	2:31:00	28	9,47	\$ 2.567
ACOPLE DE ESTRUCTURA PRIMARIA	5:59:00	81	27,14	\$ 6.103
ACOPLE DE ESTRUCTURA PRIMARIA	5:59:00	81	27,14	\$ 6.103
PIEZAS DE LAS TURBINAS	6:13:00	46	15,38	\$ 6.341
PIEZAS DE LAS TURBINAS	6:13:00	46	15,38	\$ 6.341
CAJA DE CONTROL 1	16:59:00	160	53,63	\$ 17.323
CAJA DE CONTROL 2	15:50:00	150	50,15	\$ 16.150
TAPAS DE CAJA DE CONTROL	9:25:00	84	28,03	\$ 9.605
TAPA CENTRAL	4:09:00	47	15,71	\$ 4.233
Total		2688	900,55	\$ 337.637

331 HORAS
19 DIAS DE IMPRESIÓN

14.8. ANEXO 8. PROGRAMACION DEL PROTOTIPO.

Se presenta el programa implementado para la funcionalidad del prototipo.

```
1 #include <Servo.h>
2
3 #define CH1 3
4 #define CH2 5
5 #define CH3 6
6 #define CH4 7
7 byte servoPin1 = 9; // signal pin for the ESC.
8 byte servoPin2 = 10; // signal pin for the ESC.
9
10 Servo servo1;
11 Servo servo2;
12
13 Servo motor1;
14 Servo motor2;
15 Servo motor3;
16 Servo motor4;
17
18 int InputValue1; // variable para almacenar el valor de la entrada
19 int pos1 = 0; // variable para almacenar la posición de los servos
20
21 int InputValue2; // variable para almacenar el valor de la entrada
22 int pos2 = 0; // variable para almacenar la posición de los servos
23
24 int pos3 = 0; // variable para almacenar la posición de los servos
25
26 void setup(){
27
28   Serial.begin(9600);
29   servo1.attach(servoPin1);
30   servo2.attach(servoPin2);
31   servo1.writeMicroseconds(1500); // send "stop" signal to ESC. Also necessary to arm the ESC.
32   servo2.writeMicroseconds(1500); // send "stop" signal to ESC. Also necessary to arm the ESC.
33   delay(2000); // delay to allow the ESC to recognize the stopped signal.
34
35   pinMode(CH1, INPUT);
36   pinMode(CH2, INPUT);
37   pinMode(CH3, INPUT);
38   pinMode(CH4, INPUT);
39
40   motor1.attach(2); // Pin de Arduino Nano para el motor 1
41   motor2.attach(4); // Pin de Arduino Nano para el motor 2
42   motor3.attach(8); // Pin de Arduino Nano para el motor 3
43   motor4.attach(11); // Pin de Arduino Nano para el motor 4
44
45   motor1.write(0); // envía la posición al servo
46   motor2.write(0); // envía la posición al servo
47   motor3.write(0); // envía la posición al servo
48   motor4.write(0); // envía la posición al servo
49
50 }
51 void loop(){
52   int ch1 = pulseIn(CH1, HIGH);
53   int ch2 = pulseIn(CH2, HIGH);
54   int ch3 = pulseIn(CH3, HIGH);
55   int ch4 = pulseIn(CH4, HIGH);
56
57   servo1.writeMicroseconds(ch1); // Send signal to ESC.
58   servo2.writeMicroseconds(ch2); // Send signal to ESC.
59   Serial.print(ch1);
60   Serial.print(ch1);
61
62   InputValue1 = digitalRead(ch3); // lee el valor de la entrada
63   if (InputValue1 == HIGH) { // si la entrada está activa
64     pos1 = 90; // establece la posición del servo a 90 grados
65     pos2 = 45;
66     motor1.write(pos1); // envía la posición al servo
67     motor2.write(pos2); // envía la posición al servo
68     motor3.write(pos1); // envía la posición al servo
69     motor4.write(pos2); // envía la posición al servo
70   }
71
72
73   InputValue2 = digitalRead(ch4); // lee el valor de la entrada
74   if (InputValue2 == HIGH) { // si la entrada está activa
75     pos3 = 0; // establece la posición del servo a 90 grados
76
77     motor1.write(pos3); // envía la posición al servo
78     motor2.write(pos3); // envía la posición al servo
79     motor3.write(pos3); // envía la posición al servo
80     motor4.write(pos3); // envía la posición al servo
81   }
82
83
84 }
```