



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO
RECOLECTOR DE RESIDUOS FLOTANTES EN AGUAS
LÉNTICAS”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

CRISTIAN ARMANDO TAPIA BRAVO

LISETH PATRICIA MERINO ALVARADO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO
RECOLECTOR DE RESIDUOS FLOTANTES EN AGUAS
LÉNTICAS.”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: CRISTIAN ARMANDO TAPIA BRAVO

LISETH PATRICIA MERINO ALVARADO

DIRECTOR: Ing. JAVIER ENRIQUE ORNA CHÁVEZ

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Cristian Armando Tapia Bravo; & Liseth Patricia Merino Alvarado

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Liseth Patricia Merino Alvarado y Cristian Armando Tapia Bravo, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 06 de julio de 2022



Liseth Patricia Merino Alvarado
060410618-7



Cristian Armando Tapia Bravo
235003898-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO RECOLECTOR DE RESIDUOS FLOTANTES EN AGUAS LÉNTICAS**, realizado por: **LISETH PATRICIA MERINO ALVARADO Y CRISTIAN ARMANDO TAPIA BRAVO**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-07-06
Ing. Javier Enrique Orma Chávez DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-07-06
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-07-06

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Sonia B. mi madre quien con su esfuerzo y amor ha guiado cada etapa de mi vida, a mi familia, abuelos y tíos que estuvieron siempre para mí con muestras de apoyo y palabras de aliento en los momentos más difíciles, de no ser por ustedes este logro no habría sido posible.

Cristian Tapia Bravo

El presente trabajo lo dedico principalmente a mis padres Luis Armando y María Elena que con su amor y sabiduría han sido el soporte e inspiración para estar aquí cumpliendo mis metas, a mi hermana Cinthya por su cariño y apoyo incondicional en cada momento de mi vida académica y personal. Y a todas las personas que han estado en el transcurso de mi carrera universitaria mis maestros, familia y amigos.

Liseth Merino Alvarado

AGRADECIMIENTO

A Dios por sus innumerables bendiciones, a mi madre por ser mi mejor ejemplo y más grande inspiración, a mi familia por su apoyo incondicional en cada decisión tomada, a Liss, Vivi y sus familias por acogerme como uno más de ellos, a mis amigos, compañeros y personas muy especiales que de una u otra forma aportaron en mi crecimiento personal y académico simplemente no alcanzan las palabras para expresar mi gratitud para con ustedes.

De manera especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme formarme como profesional, compartir mi amor por la música y vivir experiencias que jamás habría imaginado. A la escuela de Ingeniería Mecánica y todos quienes la conforman siendo parte de nuestro proceso de crecimiento. ¡Infinitas Gracias!

Cristian Tapia Bravo

Para finalizar hoy esta etapa, quiero agradecer primero a Dios por todas sus bendiciones, a mis padres Armando y María Elena que siempre me han dado su amor y sobre todo el ejemplo de lucha y perseverancia, a mi hermana Cinthya por siempre apoyarme y a ese pequeño ser que sin darse cuenta me ha ayudado a seguir. A Cristian por compartir este tiempo logrando hacer un buen equipo de trabajo y a Viviana por su amistad. Además, quiero agradecer a todas esas personas importantes que he ido conociendo, me han dado su tiempo, cariño y amistad, dejando en mí buenos recuerdos y sobre todo muchos aprendizajes. Muchas gracias por todo.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Carrera de Ingeniería Mecánica y a sus docentes principalmente a nuestros tutor y miembro quienes nos han dado su conocimiento para iniciar nuestra vida profesional.

Finalmente quiero agradecer a mi familia porque siempre estuvieron ahí con sus consejos y motivación.

Liseth Merino Alvarado

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xix
ÍNDICE DE ANEXOS	xx
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY	iv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Delimitación	3
1.2.1 <i>Delimitación espacial</i>	3
1.2.2 <i>Delimitación sectorial</i>	3
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1 Contaminación en medios acuáticos	5
2.1.1 <i>Residuos</i>	5

2.1.1.1	<i>Residuos Orgánicos</i>	6
2.1.1.2	<i>Residuos Inorgánicos</i>	6
2.1.2	<i>Densidad de los residuos</i>	7
2.2	Masas de agua	8
2.2.1	<i>Aguas lóaticas</i>	8
2.2.2	<i>Aguas lénticas</i>	8
2.2.2.1	<i>Laguna de Colta</i>	9
2.2.2.2	<i>Laguna de Yambo</i>	9
2.2.2.3	<i>Laguna Valle Hermoso</i>	9
2.2.2.4	<i>Lagunas de Ozogoche</i>	9
2.3	Metodología QFD	10
2.3.1	<i>Encuesta</i>	10
2.4	Sistema estructural	11
2.4.1	<i>Casco</i>	11
2.4.2	<i>Carena</i>	11
2.4.3	<i>Dimensiones</i>	12
2.4.4	<i>Esfuerzos sometidos</i>	14
2.4.4.1	<i>Esfuerzo de arrufo</i>	14
2.4.4.2	<i>Esfuerzo de quebranto</i>	15
2.5	Flotabilidad	15
2.5.1	<i>Principio de Arquímedes</i>	16
2.6	Sistemas de propulsión	17
2.6.1	<i>Maniobrabilidad</i>	17
2.6.1.1	<i>Por timón o pala</i>	18
2.6.1.2	<i>Por tobera</i>	18
2.6.1.3	<i>Por hélices</i>	18
2.6.2	<i>Características para la selección de un propulsor</i>	18

2.6.2.1	<i>Estimación de la velocidad</i>	19
2.6.2.2	<i>Determinación aproximada del desplazamiento o cálculo de pesos</i>	19
2.6.2.3	<i>Cálculo del paso</i>	21
2.6.2.4	<i>Determinación del diámetro</i>	22
2.6.2.5	<i>Empuje a una determinada velocidad</i>	22
2.7	Capacidad de baterías	23
2.7.1	<i>Cálculo de la capacidad de una batería</i>	23
2.8	Sistema de control	24
2.8.1	<i>Sensores</i>	24
2.8.2	<i>Actuadores</i>	26
2.9	Protocolo de pruebas	27
2.9.1	<i>Formato de un protocolo de pruebas</i>	27
2.9.1.1	<i>Métodos de diagnóstico para el protocolo de pruebas</i>	28
2.10	Software de diseño y validación	28
2.10.1	<i>SolidWorks</i>	28
2.10.2	<i>ANSYS</i>	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	30
3.1	Definición del producto	30
3.1.1	<i>Función casa de la calidad</i>	30
3.1.1.1	<i>Requerimientos del cliente</i>	30
3.1.1.2	<i>Análisis de competencias</i>	32
3.1.1.3	<i>Voz del ingeniero</i>	35
3.1.1.4	<i>Correlaciones</i>	36
3.1.1.5	<i>Evaluación técnica</i>	36
3.1.2	<i>Casa de la calidad</i>	36
3.1.3	<i>Resultado de la matriz QFD</i>	36

3.1.4	<i>Especificaciones del producto</i>	37
3.2	Diseño conceptual	38
3.2.1	<i>Estructura funcional</i>	38
3.2.2	<i>Definición de módulos</i>	38
3.2.3	<i>Alternativas de solución módulo mecánico</i>	39
3.2.3.1	<i>Tipo de casco</i>	39
3.2.3.2	<i>Material</i>	40
3.2.3.3	<i>Recolección</i>	41
3.2.3.4	<i>Almacenamiento</i>	42
3.2.3.5	<i>Propulsión y maniobrabilidad</i>	44
3.2.3.6	<i>Energía</i>	45
3.2.4	<i>Alternativas de solución módulo de control</i>	47
3.2.4.1	<i>Control</i>	47
3.2.4.2	<i>Cámara</i>	47
3.2.4.3	<i>Visión</i>	49
3.2.4.4	<i>Interfaz</i>	49
3.2.4.5	<i>Comunicación</i>	50
3.2.5	<i>Matriz morfológica y generación de alternativas</i>	50
3.2.5.1	<i>Módulo mecánico</i>	51
3.2.5.2	<i>Módulo de control</i>	51
3.2.6	<i>Alternativas de solución</i>	52
3.2.6.1	<i>Solución A</i>	52
3.2.6.2	<i>Solución B</i>	53
3.2.6.3	<i>Solución C</i>	54
3.2.7	<i>Evaluación de soluciones</i>	54

3.2.7.1	<i>Método de criterios ponderados</i>	55
3.2.7.2	<i>Matriz de confrontaciones</i>	55
3.2.7.3	<i>Evaluación de soluciones con respecto a cada criterio</i>	56
3.2.7.4	<i>Conclusión de las soluciones</i>	59
3.3	Diseño de materialización de la alternativa seleccionada	60
3.4	Diseño mecánico de la alternativa seleccionada	61
3.4.1	<i>Dimensionamiento</i>	62
3.4.1.1	<i>Dimensionamiento del casco</i>	62
3.4.1.2	<i>Dimensionamiento de brazos</i>	62
3.4.1.3	<i>Dimensionamiento de la canastilla</i>	63
3.4.2	<i>Selección de materiales</i>	63
3.4.2.1	<i>Material del casco</i>	64
3.4.2.2	<i>Material de canastilla</i>	66
3.4.3	<i>Diseño del sistema de recolección</i>	67
3.4.3.1	<i>Cálculo de la potencia de los motores</i>	68
3.4.3.2	<i>Selección de la banda transportadora</i>	71
3.4.3.3	<i>Diseño del eje</i>	73
3.4.4	<i>Flotabilidad</i>	79
3.4.4.1	<i>Condición 1: Casco sin carga añadida</i>	79
3.4.4.2	<i>Condición 2: Casco con brazos recolectores</i>	81
3.4.4.3	<i>Condición 3: Casco con carga añadida</i>	82
3.4.5	<i>Propulsión</i>	83
3.4.5.1	<i>Cálculo del paso de la turbina</i>	84
3.4.5.2	<i>Selección del diámetro de la turbina</i>	85
3.4.6	<i>Selección de pernos de los soportes</i>	86
3.4.7	<i>Cálculo de baterías</i>	91
3.5	Validación mediante ANSYS	93
3.5.1	<i>Análisis del casco del prototipo</i>	93

3.5.1.1	<i>Pre - proceso</i>	93
3.5.1.2	<i>Proceso – Esfuerzo de arrufo en eslora</i>	96
3.5.1.3	<i>Post Proceso – Esfuerzo de arrufo en eslora</i>	96
3.5.1.4	<i>Proceso – Esfuerzo de arrufo en manga</i>	97
3.5.1.5	<i>Post Proceso – Esfuerzo de arrufo manga</i>	98
3.5.1.6	<i>Proceso – Esfuerzo de quebranto en eslora</i>	99
3.5.1.7	<i>Post Proceso – Esfuerzo de quebranto en eslora</i>	99
3.5.1.8	<i>Proceso – Esfuerzo de quebranto en manga</i>	100
3.5.1.9	<i>Post Proceso – Esfuerzo de quebranto en manga</i>	101
3.5.1.10	<i>Proceso – Compresión del casco</i>	102
3.5.1.11	<i>Post Proceso – Compresión del casco</i>	102
3.5.2	<i>Análisis del soporte base motores</i>	103
3.5.2.1	<i>Pre – Proceso</i>	103
3.5.2.2	<i>Proceso soporte base motores</i>	106
3.5.2.3	<i>Post Proceso soporte base motores</i>	107
3.6	Sistema de control	108
3.6.1	<i>LORAWAN</i>	108
3.6.1.1	<i>TTGO</i>	108
3.6.1.2	<i>Arduino Nano</i>	109
3.6.1.3	<i>Sensores</i>	109
3.6.1.4	<i>ACS</i>	110
3.6.1.5	<i>LM1</i>	110
3.6.2	<i>Radio control</i>	111
3.6.3	<i>FPV</i>	112
3.7	Diagrama de flujo para la construcción del prototipo	113
3.8	Protocolo de pruebas	114
3.8.1	<i>Identificación de la necesidad</i>	115
3.8.2	<i>Formulación de objetivos</i>	115
3.8.3	<i>Planteamiento de ítems a evaluar</i>	116

3.8.3.1	<i>Sistema estructural</i>	116
3.8.3.2	<i>Sistema propulsor</i>	116
3.8.3.3	<i>Sistema recolector</i>	117
3.8.3.4	<i>Sistema de control</i>	117
3.8.4	<i>Desarrollo del protocolo de pruebas</i>	117
3.8.4.1	<i>Contenido</i>	117

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	119
4.1	Proceso de construcción del prototipo	119
4.1.1	<i>Análisis de costos</i>	122
4.1.1.1	<i>Prototipo a escala</i>	123
4.1.1.2	<i>Prototipo real</i>	123
4.2	Resultados del protocolo de pruebas	124
4.2.1	<i>Fase 1: El prototipo debe permanecer estático en el agua, sin carga y los sistemas de control activados</i>	125
4.2.2	<i>Fase 2: El prototipo debe moverse por el agua, sin carga y los sistemas de control activados</i>	126
4.2.3	<i>Fase 3: El prototipo debe moverse por el agua, recolectar residuos y los sistemas de control activados</i>	128
4.2.4	<i>Fase 4: El prototipo debe moverse por el agua con carga máxima y los sistemas de control activados</i>	130
	CONCLUSIONES	132
	RECOMENDACIONES	133

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Tipos de residuos que se encuentran en un medio marino.	7
Tabla 2-2: Clasificación de sensores según la variable física a medir.	25
Tabla 3-2: Métodos de diagnóstico del protocolo.	28
Tabla 1-3: Valores de los requerimientos del cliente.....	32
Tabla 2-3: Valores para el análisis de competencias	34
Tabla 3-3: Valores de relación del factor de incidencia	36
Tabla 4-3: Especificaciones del producto.....	37
Tabla 5-3: Matriz morfológica módulo mecánico	51
Tabla 6-3: Matriz morfológica módulo de control	52
Tabla 7-3: Criterios de evaluación	56
Tabla 8-3: Criterios de evaluación respecto al criterio costos	56
Tabla 9-3: Criterios de evaluación respecto al criterio funcionalidad.....	56
Tabla 10-3: Criterios de evaluación respecto al criterio diseño	57
Tabla 11-3: Criterios de evaluación respecto al criterio capacidad operativa	57
Tabla 12-3: Criterios de evaluación respecto al criterio seguridad y medio ambiente.....	57
Tabla 13-3: Criterios de evaluación respecto al criterio costos	58
Tabla 14-3: Criterios de evaluación respecto al criterio funcionalidad.....	58
Tabla 15-3: Criterios de evaluación respecto al criterio diseño	58
Tabla 16-3: Criterios de evaluación respecto al criterio capacidad operativa	59
Tabla 17-3: Criterios de evaluación respecto al criterio seguridad y medio ambiente.....	59
Tabla 18-3: Criterios de evaluación respecto al criterio seguridad y medio ambiente.....	59
Tabla 19-3: Criterios de evaluación respecto al criterio seguridad y medio ambiente.	60
Tabla 20-3: Componentes del prototipo recolector de residuos.....	61
Tabla 21-3: Factores para la selección del material del casco	64
Tabla 22-3: Propiedades Fibra de Vidrio	65

Tabla 23-3: Factores para la selección del material de la canastilla	66
Tabla 24-3: Propiedades Aluminio comercial	67
Tabla 25-3: Características del motor del sistema de recolección	71
Tabla 26-3: Características de la banda.....	73
Tabla 27-3: Propiedades del Acero Inoxidable	73
Tabla 28-3: Valores de Momentos flectores y Momentos torsores	77
Tabla 29-3: Dimensiones generales del prototipo	79
Tabla 30-3: Características para el cálculo de la propulsión	83
Tabla 31-3: Propiedades del acero de bajo o medio carbono.....	87
Tabla 32-3: Características para el cálculo de la propulsión	91
Tabla 33-3: Características de las baterías	92
Tabla 34-3: Propiedades del material del casco	93
Tabla 35-3: Estudio de convergencia casco del prototipo recolector.....	95
Tabla 36-3: Propiedades del material del soporte de los propulsores	104
Tabla 37-3: Estudio de convergencia casco del prototipo recolector.....	105
Tabla 38-3: Características TTGO	108
Tabla 39-3: Características Arduino Nano	109
Tabla 40-3: Características de los sensores Sharp	109
Tabla 41-3: Características ACS	110
Tabla 42-3: Características LM1	110
Tabla 43-3: Protocolo de pruebas sistema estructural	116
Tabla 44-3: Protocolo de pruebas sistema propulsor.....	116
Tabla 45-3: Protocolo de pruebas sistema recolector.	117
Tabla 46-3: Protocolo de pruebas sistema de control.	117
Tabla 47-3: Métodos de evaluación	118
Tabla 1-4: Lista de materiales de construcción del prototipo	119
Tabla 2-4: Proceso para la construcción del prototipo.....	120
Tabla 3-4: Análisis de costos prototipo a escala.....	123

Tabla 4-4: Análisis de costos prototipo a escala.....	123
Tabla 5-4: Pruebas del Sistema mecánico	125
Tabla 6-4: Pruebas del Sistema electrónico.....	126
Tabla 7-4: Pruebas del Sistema mecánico.	126
Tabla 8-4: Pruebas del Sistema electrónico.....	127
Tabla 9-4: Pruebas del Sistema mecánico.	128
Tabla 10-4: Pruebas del Sistema electrónico.....	129
Tabla 11-4: Pruebas del Sistema mecánico	130
Tabla 12-4: Pruebas del Sistema electrónico.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Residuos en medios acuáticos	6
Figura 2-2: Centro de carena (C), centro de flotación (F)	12
Figura 3-2: Esloras.....	13
Figura 4-2: Mangas.....	13
Figura 5-2: Esfuerzo de arrufo en una embarcación.....	14
Figura 6-2: Esfuerzo de quebranto en una embarcación	15
Figura 7-2: Flotabilidad	15
Figura 8-2: Principio de Arquímedes	16
Figura 9-2: Arreglo básico de unidad propulsora.....	17
Figura 10-2: Clasificación de sensores por principio de transducción	24
Figura 11-2: Acción del campo magnético en una espira.....	26
Figura 12-2: Dirección de fuerzas de un motor CD imán permanente	26
Figura 1-3: WasteShark	32
Figura 2-3: The Interceptor.....	33
Figura 3-3: Mr. Trash Wheel	34
Figura 4-3: Análisis funcional del prototipo	38
Figura 5-3: Diagrama de procesos	39
Figura 6-3: Casco plano.....	39
Figura 7-3: Casco redondo.....	40
Figura 8-3: Multicasco.....	40
Figura 9-3: Recolección por bandas.....	41
Figura 10-3: Recolección por bandas laterales.....	42
Figura 11-3: Recolección por vórtice.....	42
Figura 12-3: Almacenamiento de rejilla.....	43
Figura 13-3: Almacenamiento de red.....	43

Figura 14-3: Almacenamiento por contenedor.....	43
Figura 15-3: Hélice de paso fijo.....	44
Figura 16-3: Hélice de paso variable.....	44
Figura 17-3: Propulsor a chorro (Waterjet).....	45
Figura 18-3: Panel solar.....	45
Figura 19-3: Batería.....	46
Figura 20-3: Combustibles.....	46
Figura 21-3: Cámara de 90°.....	48
Figura 22-3: Cámara de 180°.....	48
Figura 23-3: Cámara de 360°.....	48
Figura 24-3: Trasmisión de imágenes en tiempo real.....	49
Figura 25-3: Gafas para trasmisión FPV.....	49
Figura 26-3: Imágenes.....	50
Figura 27-3: Solución A.....	52
Figura 28-3: Solución B.....	53
Figura 29-3: Solución B.....	54
Figura 30-3: Elementos principales del prototipo recolector de residuos flotantes.....	61
Figura 31-3: Vista superior de las fuerzas actuantes en la banda.....	69
Figura 32-3: Vista lateral – Distribución de la presión en la banda.....	71
Figura 33-3: Fuerzas aplicadas en la polea.....	74
Figura 34-3: Diagrama de cuerpo libre del eje.....	75
Figura 35-3: Diagrama de cuerpo libre del eje.....	76
Figura 36-3: Diagrama de momento flector plano x-z y plano y-z.....	76
Figura 37-3: a) Diagrama de flexión b) Diagrama de torsión.....	77
Figura 38-3: Propiedades del casco del prototipo.....	80
Figura 39-3: Propiedades los brazos del prototipo.....	81
Figura 40-3: Distribución de fuerzas para los pernos.....	86
Figura 41-3: Diseño a corte pernos.....	88

Figura 42-3: Diseño a tracción pernos	89
Figura 43-3: Geometría del casco del prototipo	93
Figura 44-3: Mallado del casco del prototipo.....	94
Figura 45-3: Restricciones y Fuerzas – Esfuerzo de arrufo eslora	96
Figura 46-3: Deformaciones – Esfuerzo de arrufo eslora.....	96
Figura 47-3: Esfuerzo Equivalente – Esfuerzo de arrufo eslora	97
Figura 48-3: Restricciones y Fuerzas – Esfuerzo de arrufo manga	97
Figura 49-3: Deformaciones – Esfuerzo de arrufo manga.....	98
Figura 50-3: Esfuerzo Equivalente – Esfuerzo de arrufo manga.....	98
Figura 51-3: Restricciones y Fuerzas – Esfuerzo de quebranto eslora	99
Figura 52-3: Deformaciones – Esfuerzo de quebranto eslora.....	99
Figura 53-3: Esfuerzo Equivalente – Esfuerzo de quebranto eslora	100
Figura 54-3: Restricciones y Fuerzas – Esfuerzo de quebranto en manga.....	100
Figura 55-3: Deformaciones – Esfuerzo de quebranto en manga.....	101
Figura 56-3: Deformaciones – Esfuerzo de quebranto en manga.....	101
Figura 57-3: Restricciones y Fuerzas – Compresión del casco	102
Figura 58-3: Deformaciones – Compresión del casco.....	102
Figura 59-3: Esfuerzo Equivalente – Compresión del casco	103
Figura 60-3: Geometría base motores	104
Figura 61-3: Mallado base motores.....	105
Figura 62-3: Restricciones y Fuerzas – Base motores.....	106
Figura 63-3: Deformaciones – Base motores	107
Figura 64-3: Esfuerzo Equivalente – Base motores	107
Figura 65-3: Conexión sistema LORAWAN	111
Figura 66-3: Conexión del sistema de control.....	112
Figura 67-3: Conexión del sistema FPV	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Velocidad de desplazamiento – incluido semidesplazamiento	20
Gráfico 1-3: Diagrama Densidad vs Módulo de Flexión - Casco	65
Gráfico 2-3: Diagrama Densidad vs Módulo de Flexión – Material de la canastilla	66
Gráfico 3-3: Velocidad de Desplazamiento – Incluyendo Semidesplazamiento.....	84
Gráfico 4-3: Diagrama Malla vs Deformación Total.....	95
Gráfico 5-3: Diagrama Malla vs Deformación Total.....	106
Gráfico 6-3: Diagrama de flujo de construcción del prototipo	114
Gráfico 7-3: Metodología usada en el desarrollo del protocolo de comprobaciones.	115

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Encuesta Voz del cliente

ANEXO B: Casa de la calidad

ANEXO C: Propiedades del agua

ANEXO D: Concentradores de esfuerzo

ANEXO E: Diámetros comerciales de pernos

ANEXO F: Interfaz de usuario en LabVIEW

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo diseñar, construir y automatizar un prototipo recolector de residuos flotantes en aguas lénticas mediante la aplicación de la metodología QFD del diseño de productos para obtener un modelo que satisfice las necesidades de la localidad de estudio. Para su diseño fue dividido en un módulo mecánico conformado por los sistemas: estructural validado por análisis de elementos finitos en el software ANSYS WORKBENCH, recolector encargado del almacenamiento de residuos, propulsor encargado de dar movimiento al prototipo, junto con un módulo de control formado por el protocolo Lora WAN, radio control, visión en primera persona FPV e interfaz de usuario desarrollada en el software LabVIEW que permiten el manejo y comunicación con este. Con los resultados del diseño se construyó el prototipo a escala 1:2 mediante impresión 3D para ser sometido a un protocolo de pruebas en la laguna Valle Hermoso del cantón Guano en distintos escenarios, en donde para la situación crítica se obtuvieron resultados favorables respecto a la flotación con un valor máximo de 8 cm, 30 minutos de duración de cada batería, y respuestas al sistema de control para un alcance de 500m. De esta manera se demostró que el diseño es funcional tanto en su sistema mecánico como en el sistema de control presentando ligeras diferencias entre el modelo propuesto y el comportamiento final de este. Se recomienda a los usuarios implementar este modelo como alternativa para reducir el número de residuos en aguas lenticas y seguir las instrucciones detalladas en el manual de operación y mantenimiento del prototipo para alargar su vida útil.

Palabras Clave: <PROTOTIPO> <RESIDUOS FLOTANTES>
<AUTOMATIZACIÓN> <METODOLOGÍA QFD> <PROTOCOLO DE PRUEBAS> .

1565-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

The objective of this study was to design, build and automate a floating waste collector prototype in lentic waters by applying the QFD methodology of product design to obtain a model that meets the needs of the study location. For its design, it was divided into a mechanical module made up of the following systems: structural validated by finite element analysis in the ANSYS WORKBENCH software, a collector in charge of waste storage, a propellant in charge of moving the prototype, along with a control module made up of the Lora WAN protocol, radio control, FPV first-person vision and user interface developed in LabVIEW software that allows handling and communication with it. With the design results, the prototype was built on a 1:2 scale using 3D printing to be subjected to a test protocol in the Valle Hermoso lagoon in Guano canton in different scenarios, where for a critical situation, favorable results were obtained with respect to the flotation with a maximum value of 8 cm, 30 minutes of duration of each battery, and responses to the control system for a range of 500m. In this way, it was shown that the design is functional both in its mechanical and control systems, presenting slight differences between the proposed model and its final behavior. It is recommended that users implement this model as an alternative to reduce the number of residues in sluggish water, and to follow the detailed instructions in the prototype's operation and maintenance manual to extend its useful life.

Keywords: <PROTOTYPE> <FLOATING WASTE> <AUTOMATIZATION> <QFD METHODOLOGY> <TEST PROTOCOL>.



Lcda. Sandra Leticia Guijarro P. Mgs
C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

En los últimos años los niveles de contaminación por residuos en lagos, ríos y océanos del mundo han alcanzado niveles realmente altos debido a una escasa cultura de reciclaje e ineficiencia en las estrategias de regulación por parte de los gobiernos. Para dar solución a este problema distintas organizaciones a nivel mundial han propuesto estrategias como reducir y reemplazar los plásticos en su mayoría con materiales biodegradables, mejorar los sistemas de manejo de residuos y la recolección de estos en lugares contaminados. Siendo este último la alternativa que da apertura al desarrollo de nuevos estudios.

A nivel mundial los proyectos desarrollados a gran y mediana escala resultan costosos y se enfocan en evitar la llegada de estos residuos a los océanos, dejando de lado la contaminación existente en aguas lénticas como lagos, lagunas o estanques. En nuestro país no se han desarrollado soluciones viables para reducir este problema al cual se suma que las autoridades a cargo consideran esto como “Un problema local que requiere una solución global”, (Manrique, 2021) Por esto el presente tema de grado presenta el desarrollo de un prototipo recolector de residuos flotante diseñado específicamente para desenvolverse en medios acuosos lenticos donde las corrientes generadas por vientos son débiles en comparación con masas de agua en movimiento como ríos o mares.

El desarrollo del prototipo fue realizado siguiendo los lineamientos que la metodología QFD dispone, obteniéndose los requerimientos con los que debe cumplir el prototipo en base a las encuestas realizadas en cuatro lagunas turísticas aledañas a la ciudad de Riobamba y al estudio de los posibles competidores internacionales en el desarrollo de este tipo de productos.

Para el diseño de materialización el prototipo fue dividido en dos sistemas principales y estudiados independientemente para una mejor comprensión siendo así que el sistema mecánico consta de varios subsistemas como: estructural, de propulsión, de recolección y almacenamiento, los cuales son dirigidos mediante un sistema de control basado en el protocolo de comunicación LORAWAN, además es manejado por un control remoto de largo alcance y cuenta con un sistema de visión en primera persona FPV que permite observar lo que el prototipo recolecta y un sistema de sensores que informan la recolección de desechos, además, del estado de carga de las baterías.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En los últimos años los niveles de contaminación por residuos en lagos, ríos y océanos del mundo han alcanzado niveles realmente alarmantes debido a una escasa cultura de reciclaje e ineficiencia en las estrategias de regulación por parte de los gobiernos. De acuerdo con estudios realizados por la organización ambiental GREENPEACE, en el 2015 se produjeron alrededor de 380 millones de toneladas métricas al año de los cuáles 12 millones terminaron en el océano. (Greenpeace, 2016) Durante los últimos 5 años esta tendencia se ha visto duplicada teniendo cifras de 24 a 35 millones de toneladas métricas de residuos solo en el último año (2020). Por lo que se estima que para el 2030 aunque cada país cumpla con los acuerdos y políticas de reducción de estos, se verterán al menos 53 millones más. (Borrelle et al., 2020: pp.1515-1518)

Para dar solución a este problema distintas organizaciones a nivel mundial han propuesto las siguientes estrategias: reducir el uso, mejorar los sistemas de manejo de residuos y la recolección de estos en lugares contaminados. Siendo ésta última, la alternativa que da apertura al desarrollo de nuevos proyectos. En países como Indonesia, Malaysia y República Dominicana la organización de “The Ocean Clean Up” ha puesto en marcha el proyecto “The Interceptor” como una solución escalable para prevenir la entrada de plásticos al mar desde los ríos. (The Oceancleanup, 2019) Por otra parte, en Dinamarca y Reino Unido la empresa “RanMarine Technology” ha desarrollado un dron llamado “Waste Shark” encargado de limpiar las costas de estos países. (Riccio, 2021).

La situación actual en Ecuador no deja de ser inquietante, pues la mayoría de los residuos que son desechados terminan en un medio lótico o léntico, pese a esto no se ha desarrollado soluciones viables para mitigar este problema al cual se suma que las autoridades a cargo consideran esto como “Un problema local que requiere una solución global”, (Manrique, 2021) entendiendo que se espera la iniciativa y accionar de potencias mundiales y países vecinos.

Las alternativas investigadas en el país únicamente se han quedado en ideas como es el caso de un “Recolector de residuos marinos para el muelle de la ciudad de Manta” el cual es un dispositivo

estático cuyo funcionamiento depende de varios factores como el oleaje, condiciones climáticas y condiciones de operación del muelle, logrando recoger desde 1 a 2.3 libras en una hora y media. (Jima, Salvatierra & Terán, 2019: pp.10-19). Demostrando de esta forma que no se cuenta con el equipo adecuado para afrontar este problema.

1.2 Delimitación

1.2.1 *Delimitación espacial*

El presente proyecto está delimitado espacialmente a nivel provincial, detallando la provincia de Chimborazo, específicamente en la laguna Valle Hermoso del cantón Guano.

1.2.2 *Delimitación sectorial*

Con este proyecto se influye en un marco ambiental debido a que engloba la recolección de residuos principalmente que se encuentran en aguas lénticas, ocasionando problemas tanto de contaminación como estético para estos lugares.

1.3 Formulación del problema

El proceso de recolección y manejo de residuos en aguas lénticas se ha catalogado como una tarea ardua y compleja para ser realizada de forma manual por el ser humano, lo que ha provocado la contaminación de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, al referirse a la idea de limpiar los lagos, el Ecuador se enfrenta a la falta de equipos adecuados para la recolección de desechos, debido a que adquirirlos resultarían costosos, por lo que se prefiere mantener un proceso manual o en el peor de los casos no dar la importancia necesaria.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Diseñar y automatizar un prototipo que permita la recolección de residuos flotantes utilizando la metodología QFD para disminuir la contaminación ocasionada en aguas lénticas.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Realizar encuestas al personal encargado de la recolección de residuos flotantes en aguas lénticas para estimar la cantidad de desechos que contaminan estos lugares y los requerimientos del prototipo.
- Diseñar un sistema para la recolección y almacenamiento de residuos flotantes que contaminan aguas lénticas y la estructura mecánica en la que se soportarán los elementos que conformen el prototipo.
- Desarrollar un sistema de control semiautomático encargado de la detección, almacenamiento de los residuos, manejo y propulsión del prototipo.
- Construir el prototipo a escala para la recolección de residuos flotantes y someterlo a un protocolo de pruebas de funcionamiento.
- Realizar un manual de operación y análisis de costos del prototipo.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Contaminación en medios acuáticos

La contaminación ambiental es un problema muy grave que está afectando el planeta. Principalmente esto es causado por la falta de conciencia de las personas ya que desechan residuos orgánicos e inorgánicos de manera indiscriminada en medios acuáticos.

En la actualidad la cantidad de desechos que existe es alarmante encontrando más de 500 millones de toneladas en el océano pacífico. La mayor parte de estos residuos son de productos de un solo uso, mostrando de esta manera la gran demanda que estos tienen en la sociedad y la sobreproducción que existe de estos, por estos motivos se produce la contaminación del agua originándose así un sin número de problemas realmente alarmantes afectando la flora, la fauna y la estética de lugares turísticos. (Jaén, Esteve & Banos-González, 2019: pp.1-17).

El consumo indiscriminado de residuos inorgánicos ha ocasionado diferentes problemas físicos a los ecosistemas acuáticos desde los macroplásticos que causan asfixias, intoxicaciones, heridas y enredos a los animales que viven en este medio, así como también los microplásticos que son fragmentos muy pequeños los cuales se pueden incorporar fácilmente en el medio ambiente y causar efectos nocivos en los seres vivos. El problema se da porque este material no es biodegradable y pueden estar presente a lo largo de mucho tiempo en los medios acuáticos ya que ahí es donde la mayoría termina al acabarse su vida útil. (Buteler, 2019: pp. 56-60).

2.1.1 *Residuos*

Los residuos son aquellos materiales que han concluido su vida útil o se vuelven no indispensables para el uso del ser humano, estos son liberados en medios atmosféricos, acuáticos o el suelo y se encuentran en cualquier forma o estado de la materia ya sea sólido, líquido o gaseoso como se muestra en la Figura 1-2. (Sadhvani Alonso, 2015)



Figura 1-2: Residuos en medios acuáticos

Fuente: Rietschle. 2021

2.1.1.1 *Residuos Orgánicos*

Los residuos orgánicos, son aquellos elementos que tiene la propiedad de desintegrarse o degradarse en el ambiente en un tiempo muy corto transformándose en otro tipo de materia orgánica debido a que estos residuos son de origen vegetal o animal. (Sadhvani Alonso, 2015)

El botar indiscriminadamente toneladas de desechos orgánico en las calles como en medios acuáticos, expone a todas las personas a toxinas que puede afectar directamente a la salud de estas. Existen además diferentes efectos por el desecho de residuos orgánicos como malos olores, la acción tóxica de desechos orgánicos descompuestos, modificación de la apariencia física y térmica de los desechos orgánicos, esto genera una alta posibilidad de que las personas obtengan infecciones, enfermedades pulmonares y hasta cáncer, siendo este un efecto muy perjudicial. Entre los principales desechos orgánicos se encuentran: frutas y verduras, huesos humanos y animales, así como la piel, caparazones provenientes de los alimentos, comida en mal estado, cáscaras, heces humanos y animales, flores, hiervas, grama, árboles, malas hierbas y césped, madera, desechos y semillas. (Enviromental Mangement Group, 2020)

2.1.1.2 *Residuos Inorgánicos*

Los residuos inorgánicos son aquellos que generalmente se los ocupan una sola vez y muy pocas veces son reciclados, entre la mayor parte de residuos inorgánicos se encuentran los plástico los cuales se han posicionado fuertemente en la sociedad ya que en la actualidad tiene mucho uso, ya se usa para la decoración de diferentes elementos de los hogares, son muy demandados en diferentes industrias por ser buenos aislantes electros, presenta alta resistencia a la corrosión y a elevadas temperaturas.

Por todas estas razones hoy en día la producción de plástico se ha elevado exponencialmente, entre los tipos más comunes de estos como el tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP),

cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE), polietileno de alta y baja densidad (HDPE, LDPE), todos estos representan el 90% de la producción y al terminar su vida útil del 60 al 80% terminan en el medio marino. (Elías, 2015: pp. 83-105).

2.1.2 Densidad de los residuos

A nivel mundial existe un sin número de desperdicios que se encuentran principalmente en medios acuáticos ya sean mares, ríos o lagos; en la actualidad se tiene alrededor de 245 millones de toneladas de estos. En estos lugares se pueden encontrar residuos de diferentes densidades enmarcados tanto los residuos orgánicos como inorgánicos, debido a que su uso es muy común para todos los habitantes al no tener una cultura de reciclaje. Los residuos convencionales son el vidrio, metales, papel, todo tipo de plásticos, también se tiene residuos de frutas, ramas, troncos o peces muertos y algas marinas, que de igual forma no dan una imagen agradable a estos lugares.

En la Tabla 1-2 se aprecia las densidades de los principales residuos que se encuentran en medios acuáticos. (Andrady, 2011)

Tabla 1-2: Tipos de residuos que se encuentran en un medio marino.

Tipo de Residuo	Densidad (kg/m^3)
Bolsas de plásticos, botellas, redes, sorbetes	910 – 930
Tetra packs	940
Cuerdas, tapas de botellas, redes	830
Utensilios de plásticos, recipientes para alimentos	1050
Redes, trampas	1370
Película plástica botellas, vasos	1380
Residuos de comida en hogares	131 – 481
Residuos de comida en mercados	475 – 950
Residuos de jardinería	59 – 225
Madera	131 – 320
Papel y cartón	42 – 131
Textiles	42 – 101
Vidrio	160 – 481
Otros metales	65 – 1151

Fuente: Andrady. 2011

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

2.2 Masas de agua

Una masa de agua superficial es una acumulación de líquido que se encuentra por encima de la superficie terrestre, en otros términos, se puede ver a simple vista, esta comprende a ríos, lagos, lagunas, mares etc. Estas pueden ser clasificadas de acuerdo con su movimiento en dos que son:

2.2.1 Aguas lóaticas

También conocidas como corrientes, son masas de agua que se mueven siempre en una misma dirección como ríos manantiales, riachuelos etc.

Presentan las siguientes características:

- El agua fluye en una sola dirección por lo que su suelo está en constante cambio por la adición o remoción de materiales.
- El volumen de agua se mantiene variable por lo que hay cambios en la velocidad del flujo.
- Existe una mayor distribución de oxígeno en el agua debido a su movimiento.
- Sus parámetros fisicoquímicos no son estables (Debjani, 2017)

2.2.2 Aguas lénticas

Son masas de agua que no presentan movimiento o se encuentran estancadas entre ellas se encuentran lagos, lagunas, estanques, charcos, etc. Presentan características muy particulares como:

- Su tasa de renovación de oxígeno es muy baja y se forman estratos de oxígeno y temperatura, afectados por la luz solar que reciben.
- Debido a la falta de fluidez tiende a formar sedimentos en el fondo.
- Su única fuente de renovación con frecuencia es el agua de lluvia, por lo que en épocas de sequía los ambientes lénticos pueden secarse y desaparecer para dar paso a la vegetación. (Aular, 2017)

Los cuerpos de aguas lénticas cuentan con 3 niveles bien diferenciables, estos son las zonas: litoral, limnética y profunda.

- **Zona litoral.** Comprende la zona con más variada en flora y fauna de un cuerpo de agua léntica formada por la orilla y parte del fondo siempre que este reciba suficiente y abundante luz del sol.
- **Zona limnética.** Corresponde a la parte céntrica de la masa de agua alejado de las orillas y la zona bajo este, hasta la profundidad de la zona de compensación, donde

la fotosíntesis se equilibra con la respiración. Es el un lugar con gran cantidad de fauna marina como los peces es similar al mar abierto.

- **Zona profunda.** Es la zona de la masa de agua que se encuentra más cerca del fondo, donde la luz del sol no alcanza a llegar. (Aular, 2017)

2.2.2.1 *Laguna de Colta*

Se encuentra ubicada en el cantón Colta del cual recibe su nombre, a 19 km de la ciudad de Riobamba. Tiene dimensiones de 2.5 km de largo por 1 Km de ancho cubriendo una superficie de 250 has. Es hábitat de diversas especies de aves nativas y variedad de peces multicolores. (Avilés, 2019)

2.2.2.2 *Laguna de Yambo*

Ubicada en la sierra centro, se halla a 15 minutos del cantón de Salcedo y es el límite entre las provincias de Cotopaxi y Tungurahua además se encuentra a una altura de 2600 m.s.n.m y tiene una extensión de 1100 m de largo por 290 m de ancho y 25 m de profundidad, donde habitan variedad de aves y algas endémicas. (Avilés, 2019)

2.2.2.3 *Laguna Valle Hermoso*

Ubicada a 200 m a la derecha de la carretera en sentido Riobamba-Guano es uno de los atractivos turísticos de la ciudad de Guano, cuenta con 300 m de largo y 200 m de ancho con profundidad no establecida, la cual es hogar de varias especies de anfibios, aves y patillos. (GAD Municipal Guano, 2020)

2.2.2.4 *Lagunas de Ozogoche*

Ubicadas a 20 km al sur de Guamote y 2 horas de la ciudad de Riobamba, Ozogoche con su colección de 45 lagunas forma parte del Parque Nacional Sangay y es un atractivo turístico por la tranquilidad y calma que ofrece la naturaleza. Las lagunas más grandes llamadas Magtayan constan de 2.2 Km y 5.3 Km de largo. (Ministerio de Turismo, 2020)

2.3 Metodología QFD

El despliegue de la función de calidad, denominado por sus siglas en inglés QFD (Quality Function Deployment), es una herramienta utilizada dentro de la metodología Six Sigma, para el diseño y revisión de nuevos productos cumpliendo satisfactoriamente las exigencias del cliente.

El QFD es una herramienta muy importante ya que sirve para:

- **Identificar** las necesidades y expectativas que presenten los clientes mediante encuestas.
- **Priorizar** la satisfacción y el cumplimiento de los requisitos que tenga el cliente en función de cuán importante es.
- **Focalizar** los recursos humanos y materiales para la satisfacción de las expectativas del cliente.

Al cumplir con todas estas características se obtendrá mejoras significativas y tendrá ventajas competitivas como:

- **Reducción de tiempos** en la creación de los nuevos productos.
- **Optimización del producto** cumpliendo con las expectativas del cliente.
- **Mayor eficacia** se basa principalmente en la concentración de esfuerzos “hacer lo que hay que hacer”.
- **Mayor eficiencia** los costos son mucho más económicos, ya que se disminuyen errores de fabricación. (Ruiz y Rojas, 2009: pp. 4-10).

2.3.1 Encuesta

Las encuestas son una técnica de investigación las cuales son muy utilizadas para la obtención de información sobre diferentes temas. Las encuestas presentar una gran cantidad de propósitos que se los puede llevar a cabo de muchas maneras dependiente la metodología utilizada y los objetivos que se deseen alcanzar.

Las encuestas son realizadas a un grupo de personas las cuales están dentro de una muestra de estudio, estas son llenadas a través de un formulario que puede ser de forma presencial, por medio de entrevistas o con el avance de la tecnología en la actualidad se pueden realizar estas por medio de formularios en línea y estos pueden ser compartidos por medio de las redes sociales.

Las preguntas de las encuestas pueden ser de diferentes tipos pudiendo utilizar preguntas abiertas o preguntas cerradas, también se las puede clasificar utilizando una escala de aceptación o rechazo por parte de los encuestados.

Para realizar las encuestas se debe seguir las siguientes etapas:

- Identificación del problema.

- Determinación del diseño de investigación.
- Especificación de la hipótesis.
- Definición de las variables.
- Selección de la muestra.
- Diseño del cuestionario.
- Organización del trabajo de campo.
- Análisis de las encuestas e interpretación de resultados. (Casas, Repullo y Donado, 2003: pp. 527-538)

2.4 Sistema estructural

El sistema estructural es semejante a la forma de un barco, es decir es un medio de transporte capaz de flotar y movilizarse en el agua con una buena estabilidad y resistencia. La movilidad y desplazamiento puede ser controlado por algún medio de propulsión y es capaz de moverse con una carga. (ONNautic, 2020)

2.4.1 Casco

El casco de un buque es uno de los elementos constituyentes más importantes y responsable no solo de mantenerlo a flote sino de aportar estabilidad al mismo. Los distintos tipos y formas que existen determinan el comportamiento que tendrá el buque, la utilidad y el programa de navegación que podrá ser empleado. (Olivella, 1995: pp.17-30).

2.4.2 Carena

Se denomina carena o volumen sumergido al volumen limitado por el casco y por la superficie de flotación y consta de varias partes. (Olivella Puig, 1995: pp.17-30)

- **Centro de carena.**

En la Figura 2-2 se observa el centro de gravedad del volumen sumergido en el cual se concentra la presión del agua sobre el casco y esté relacionado al centro de empuje vertical. (Olivella, 1995: pp.17-30)

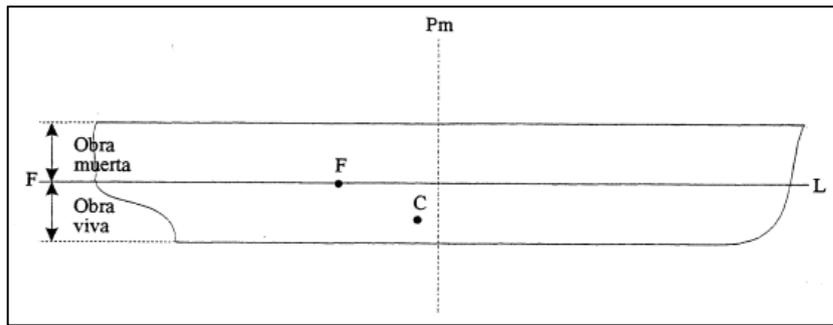


Figura 2-2: Centro de carena (C), centro de flotación (F)

Fuente: Olivella. 1995: p. 22

- **Obra viva.**

Es la parte del buque que se encuentra por debajo de la superficie de flotación y corresponde a la carena o en otras palabras será la superficie mojada del casco.

- **Obra muerta.**

Es la parte superior a la superficie de flotación conocida también como la reserva de flotabilidad que presenta el buque ante un incremento del volumen sumergido.

- **Coefficiente de flotabilidad.**

Es la relación existente entre el volumen de obra muerta y el volumen de obra viva.

$$\text{Coeficiente de flotabilidad} = \frac{\text{Obra muerta}}{\text{Obra viva}}$$

2.4.3 Dimensiones

Eslora es una distancia medida sobre el plano diametral del buque que lleva un sentido longitudinal, de acuerdo con los puntos de referencia tomados se obtienen distintas esloras que se muestran en la Figura 3-2.

- **Eslora de trazado**

Longitud medida desde la perpendicular de popa hasta la intersección de la cara interior de la roda con la flotación de verano.

- **Eslora entre perpendiculares**

Distancia longitudinal que se encuentra entre la perpendicular de popa y la perpendicular de proa.

- **Eslora de la carena**

Si para una flotación determinada, se limita la carena por dos planos transversales en los extremos de popa y de proa, la eslora de la carena para dicha flotación será la distancia dada entre estos planos. (Olivella, 1995: pp.17-30)

- **Eslora de la flotación**

Longitud máxima de la flotación considerada.

- **Eslora total**

Es la longitud medida entre dos planos transversales ubicados en las mayores salientes de popa y de proa del buque; por ende, se considera como su máxima longitud. (Olivella Puig, 1995: pp.17-30)

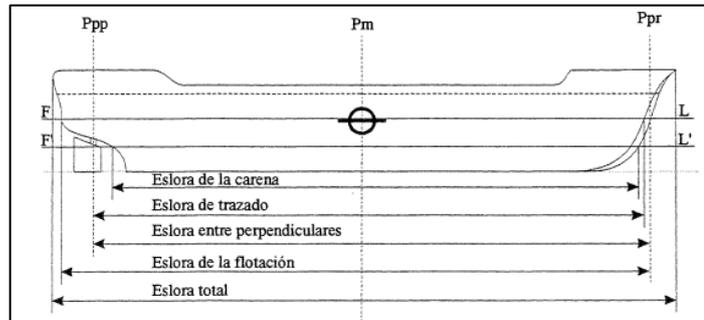


Figura 3-2: Esloras

Fuente: Olivella. 1995: p. 26

- **Manga**

Distancia medida en el sentido transversal del buque. De acuerdo con los puntos de referencia se obtendrán diferentes mangas.

- **Manga de trazado**

La manga fuera de miembros sin el espesor del forro del casco.

- **Manga fuera de forros o manga en el fuerte**

Es la manga máxima del buque incluyendo el espesor de los forros.

- **Manga máxima de la flotación**

Distancia transversal máxima de la flotación que se considere. Puede tomarse fuera de miembros o fuera de forros dependiendo el caso.

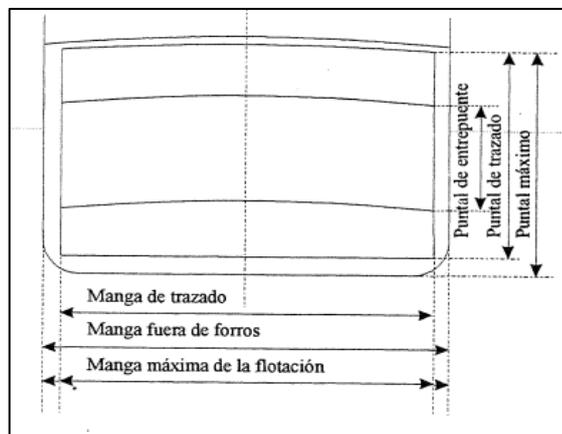


Figura 4-2: Mangas

Fuente: Olivella. 1995: p.27

La Figura 4-2 detalla las mediciones de las mangas y puntuales en el casco de un barco.

- **Puntual**

Es la distancia vertical en la parte media del barco entre el plano de la quilla y la cubierta.

- **Puntual de trazado**

Es la medida entre la cara alta de la quilla con la intersección del canto alto de cubierta.

- **Puntual máximo**

Es la distancia medida en la sección perpendicular media, desde la cara exterior de la quilla hasta el canto al del bajo en su intersección con el costado.

- **Puntual de entrepuente**

Es la distancia vertical entre dos cubiertas contiguas. (Olivella, 1995: pp.17-30)

2.4.4 *Esfuerzos sometidos*

Una embarcación que se encuentra en navegación en el agua se la puede considerar estructuralmente como una viga, la cual está sometida a fuerzas distribuidas, puntuales, presiones, momentos de fuerzas, etc. Entre los esfuerzos principales en un casco se tiene los siguiente:

2.4.4.1 *Esfuerzo de arrufo*

Este esfuerzo de arrufo se presenta cuando exista un caso desfavorable donde la cresta de una ola sea parecida a la eslora de la embarcación, como se puede observar en la Figura 5-2.

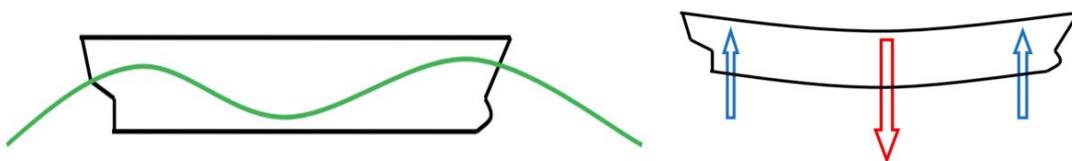


Figura 5-2: Esfuerzo de arrufo en una embarcación

Fuente: Guerrero. 2012: p. 3

Se puede observar en la figura que en la proa y la popa existe mayor fuerza de flotabilidad dirigida hacia arriba por efecto de las olas, en la parte de la mitad de la embarcación existirá poca flotabilidad por lo que se ejercerá una fuerza hacia abajo. En donde en su parte superior estará sometido a compresión y las planchas y refuerzos estructurales estarán sometidos a esfuerzos de tensión. (Guerrero, 2012: pp. 3-5)

2.4.4.2 Esfuerzo de quebranto

El esfuerzo de quebranto ocurre cuando la ola sigue su trayecto y la cresta se encuentra en la parte central de la embarcación como se muestra en la Figura 6-2.



Figura 6-2: Esfuerzo de quebranto en una embarcación

Fuente: Guerrero. 2012: p. 5

Se puede observar en la figura como las fuerzas se invierten en donde tenemos una gran fuerza de flotabilidad en la mitad de la embarcación y muy poca en la proa y la popa ejerciendo en esta parte los pesos hacia abajo. Se puede observar como la embarcación tiene a curvarse de forma contraria al arrufo, produciéndose quebranto. Aquí la cubierta o la parte superior los esfuerzos longitudinales trabajan a tensión y la parte inferior están sometidos a compresión. (Guerrero, 2012: pp. 3-5)

2.5 Flotabilidad

La flotación es un fenómeno que consiste en la pérdida aparente de peso de los objetos sumergidos en un fluido, esto se da porque los líquidos ejercen presión sobre la superficie sumergida del cuerpo y a la fuerza resultante de esta interacción se conoce como fuerza de empuje o fuerza de flotación, este comportamiento se describe mediante el principio de Arquímedes el cual establece que “Todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido recibe un empuje ascendente, igual al peso del fluido desalojado por el objeto” (Vite, 2014)

• Plano y superficie de flotación.

En la Figura 7-2 se puede observar como la superficie horizontal del agua coincide con el plano de flotación. Su intersección con el casco del buque define la línea de flotación como ya se indica en la figura y la superficie de flotación coincide con el área del plano limitada por la línea de flotación y el casco.

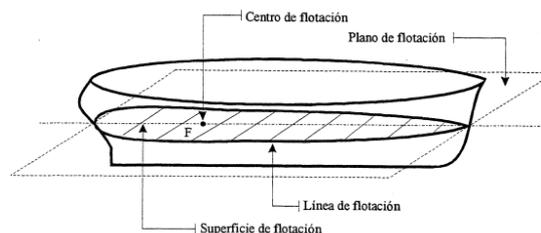


Figura 7-2: Flotabilidad

Fuente: Ollivella. 1995: p. 21

- **Línea de flotación.**

Es la línea de flotación y es paralela a la línea base para la condición máxima de carga.

- **Centro de flotación.**

Se llama así al centro de gravedad de cada superficie de flotación. Dada la simetría transversal del buque, F estará sobre el plano diametral cuando el buque esté adrizado. (Olivella Puig, 1995: pp.17-30)

2.5.1 Principio de Arquímedes

“Todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un líquido experimenta una fuerza de empuje, de abajo hacia arriba, igual al peso del volumen del líquido desalojado o desplazado” (Tippens, 2011: pp. 119-122)

Este principio matemático es muy importante debido a que nos ayudará a saber si el prototipo recolector de residuos va a flotar o hundirse, por lo cual se tomarán en cuenta dos fuerzas la primera que es dirigida hacia abajo que es el peso del prototipo y la otra que es el empuje dirigido hacia arriba. Para un análisis si el cuerpo se hunde o no se debe tener en cuenta el peso específico del cuerpo, el cual se calcula con la ayuda de la siguiente ecuación.

$$P_e = \frac{W(kg)}{V(m^3)}$$

Donde:

P_e : Peso específico

W : Peso del cuerpo

V : Volumen

Con ayuda de esta ecuación se puede realizar una comparación entre el peso específico del cuerpo y el empuje, para de esta manera saber si el cuerpo flota o se hunde, como se observa en la Figura 8-2.

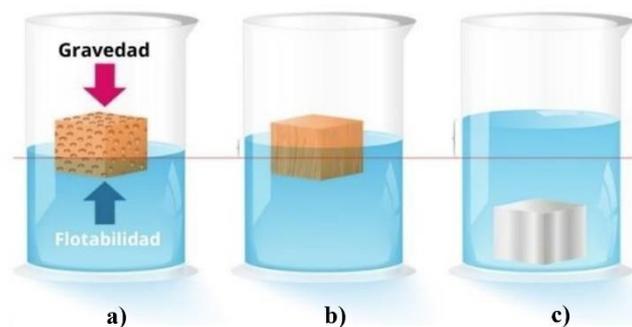


Figura 8-2: Principio de Arquímedes

Fuente: Zapata. 2019

Se tiene los tres casos que pueden ocurrir en la flotabilidad:

- a) ($P_e < E$): Si el peso específico es menor que el empuje, el cuerpo flota.
- b) ($P_e = E$): Si el peso específico es igual al empuje, el cuerpo no se hunde ni emerge.
- c) ($P_e > E$): Si el peso específico es mayor que el empuje, el cuerpo se hunde. (Zapata, 2019)

2.6 Sistemas de propulsión

El sistema de propulsión es aquel encargado de hacer avanzar un equipo o transporte desde una posición hasta otra distinta, por lo tanto, se forma de una serie de combinaciones entre varios elementos que permiten el desplazamiento sobre un medio acuático.

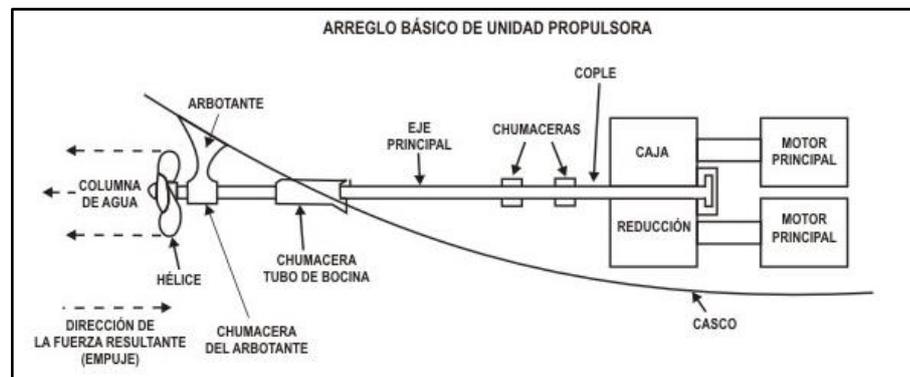


Figura 9-2: Arreglo básico de unidad propulsora

Fuente: Rodríguez. 2015

Los elementos constitutivos se observan en la Figura 9-2 y se describen a continuación:

Maquinas primarias: son las encargadas de generar la energía necesaria para alimentar los demás componentes.

Reductores: encargados de controlar la velocidad de rotación del eje de salida.

Propulsor: es el último eslabón en la cadena el cual transforma la energía mecánica en movimiento de traslación. De este elemento se puede mencionar que existen 3 grandes tipos. (Rodríguez, 2015).

2.6.1 Maniobrabilidad

Todo o cualquier buque correctamente diseñado debe ser controlable en el plano horizontal con el fin de seguir trayectorias definidas, sean rectas o curvas, desviarse de obstáculos de forma confiable y ser consistente en distintas condiciones de operación. (Martín, 2009: pp. 11-30)

Tomando en cuenta el control en el plano horizontal, este estudio debe incluir lo siguiente:

- La facilidad de mantener una determinada trayectoria.
- La respuesta que presenta el buque a las acciones del timón tanto al inicio y fin de la maniobra
- La capacidad de realizar un giro completo de dirección en una zona delimitada.

Además, se ha determinado que el movimiento del buque es causado por fuentes externas que actúan sobre él y dependen significativamente de su geometría. De acuerdo con estos criterios se plantean tres modelos.

2.6.1.1 Por timón o pala

Consiste en una pala alargada cuya función es direccionar el agua y a su vez el barco. Su ventaja es la estabilidad que se presenta cuando el buque se encuentra inclinado, pero a su vez resta velocidad a éste. (Contreras, 2014)

2.6.1.2 Por tobera

Este sistema está formado por una hélice dentro de una lámina corta tubular, la cual se mueve a causa del flujo de agua que ingresa a la hélice. Sus ventajas son la potencia y velocidad que proporcionan y a su vez la protección que da al sistema, sin embargo, son costosos y existen riesgos de cavitación. (Contreras, 2014)

2.6.1.3 Por hélices

Consiste en dos hélices autónomas acopladas cada una a un motor lo que permite variar las velocidades y maniobrar el buque a necesidad, presenta ventajas como menor costo de mantenimiento, no hay necesidad de timón, excelente capacidad de maniobra etc.

2.6.2 Características para la selección de un propulsor

En la selección de un propulsor intervienen diferentes factores, no solo el diámetro y el paso a pesar de que estos sean los más críticos. A continuación, se presentan los factores para tener en cuenta para la correcta selección del propulsor.

2.6.2.1 *Estimación de la velocidad*

En todo propulsor se debe tomar en cuenta dos características importantes las cuáles deben hacer juego con la potencia del motor y la velocidad del eje y la otra que debe coincidir con el tamaño y velocidad de operación del buque.

En embarcaciones pequeñas y yates realizar pruebas de velocidad potencias son muy costosas, el cálculo se lo debe realizar mediante fórmulas empíricas para la predicción de velocidades. Estas son fundamentadas en el tipo y forma del casco, el desplazamiento y la potencias, los cuáles dan valores aproximados para las velocidades estimadas, para esto se debe tomar en cuenta los ítems de a continuación para el correcto cálculo. (Gerr, 2001: pp. 20-53)

2.6.2.2 *Determinación aproximada del desplazamiento o cálculo de pesos*

Para la selección correcta de un propulsor se debe usar cálculos confiables y aproximados para el desplazamiento que se lo conoce como el peso a plena carga. Es por esto por lo que la velocidad controla principalmente la relación de potencia – desplazamiento, mientras mayor sea esta relación la velocidad del equipo será mayor.

Para determinar el desplazamiento de una tripulación se debe tomar en cuenta: la tripulación y los pasajeros, toda las bodegas y los equipos que la contiene, dos tercios de la capacidad de los tanques de agua y combustibles y dos tercios de toda la carga. (Gerr, 2001: pp. 20-53)

- **Embarcaciones de desplazamiento**

En el cuadro de la Gráfico 1-2 se presenta la velocidad de la embarcación (como la relación entre la velocidad y eslora) como una función de la potencia (en libras por Hp) para embarcaciones de desplazamiento y semidesplazamientos. Con la siguiente ecuación se puede determinar los parámetros para ingresar a la curva.

$$\frac{V}{\sqrt{L}} = \frac{10.665}{\sqrt[3]{\Delta/SHP}}$$

Donde:

V : Velocidad del barco [*nudos*]

L : Eslora de flotación [*pies*]

SHP : Potencia al eje en el propulsor

Δ : Desplazamiento [*libras*]

Para esta ecuación con una velocidad estimada el propulsor entrega entre un 50% - 60% de la eficacia y se puede trabajar con una eficiencia de 55%. (Gerr, 2001: pp. 20-53)

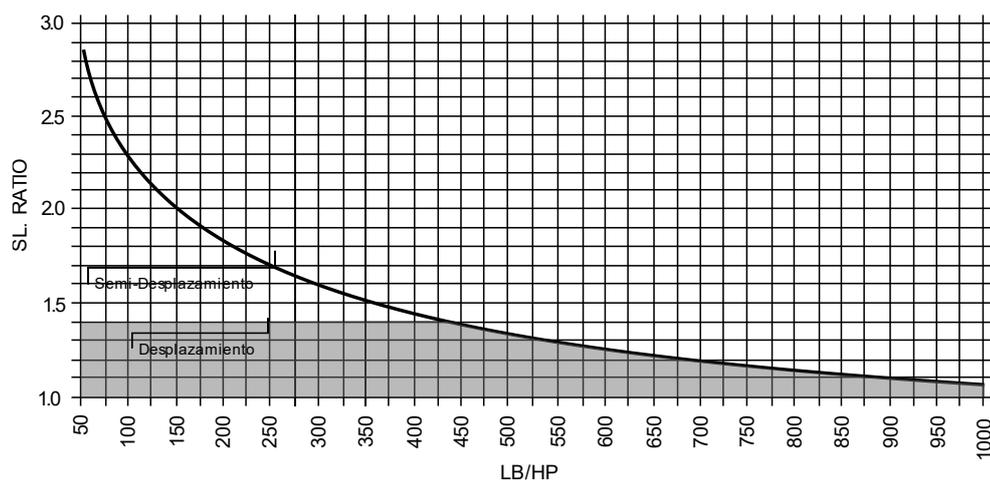


Gráfico 1-2: Velocidad de desplazamiento – incluido semidesplazamiento

Fuente: Gerr, 2001

En el Gráfico 1-2 permite calcular la potencia necesaria para alcanzar la máxima relación velocidad eslora del barco.

- **Embarcaciones de semidesplazamiento**

Los barcos de semidesplazamiento son aquellos cuya relación de velocidad – eslora son mayores a 1.3 o 1.4 y menores a 2.5 o 3. Este tipo de barcos de semidesplazamiento también se los conoce como barcos de semiplaneo, donde no solo es necesario implementar un motor más grande lo que ocasionaría desperdicio de tiempo y dinero. En estas embarcaciones se debe tener un casco específico para este propósito.

Para alcanzar estas velocidades existen tres factores que gobierna la capacidad del casco y estas son: la forma del casco, la relación desplazamiento – eslora, ya que estas embarcaciones con desplazamientos livianos pueden llegar a alcanzar velocidades elevadas y por último es un conglomerado de la capacidad marinera, que presente una resistencia a los esfuerzos y confort de la embarcación. (Gerr, 2001: pp. 20-53)

Para determinar que este es un barco de semidesplazamiento se debe determinar la relación desplazamiento – eslora (DL), con ayuda de la siguiente ecuación:

$$Relación DL = \frac{\Delta}{(0.01 \times L)^3}$$

Donde:

Δ : Desplazamiento [toneladas largas]

L: Eslora en la flotación [pies]

- **Embarcaciones de planeo**

Estas embarcaciones de planeo o planeo real son aquellas que tienen una relación de velocidad – eslora sobre 2.9 o 3. Los cascos de estas embarcaciones deben tener ángulos de sección

longitudinal a un cuarto de la manga, bajo de los 2°. La sección longitudinal se extiende para llegar a la línea de flotación. Los desplazamientos son livianos y críticos. Las dimensiones de los motores y la cantidad de combustible para ponerlos en funcionamiento hacen que se tenga un desplazamiento liviano sea unas necesidades prácticas en todos los casos, con pocas excepciones. La ecuación de la velocidad en nudos se presenta con la siguiente ecuación. (Gerr, 2001: pp. 20-53)

$$V = \frac{C}{(\Delta \times SHP)^{0.5}}$$

Donde:

V : Velocidad de la embarcación [*nudos*]

C : Constante elegida de acuerdo con el tipo de embarcación considerada.

Δ : Desplazamiento [*libras*]

SHP : Potencia en el eje del propulsor.

Con esta ecuación se tiene la velocidad con una eficiencia de 55%, ya que oscila entre 50 y 60%.

2.6.2.3 Cálculo del paso

El casco del barco necesita una determinada cantidad de empuje para impulsarlo hacia delante, es por esto por lo que se debe escoger una hélice que genere un empuje como sea posible a la velocidad que se tiene. Por esta razón se debe calcular el paso de la hélice, cuya función es hacer que la distancia de avance de la hélice sea el mismo que el de la embarcación. (Gerr, 2001: pp. 20-53)

- **Cálculo del paso con deslizamiento**

Se debe encontrar la distancia a la que le barco debe ir para alcanzar la velocidad dada, se tiene un paso con deslizamiento debido a que la hélice funciona en agua y resbala o se desliza a medida que gira está. Es más exacto decir que el deslizamiento es la diferencia entre la distancia que una embarcación viaja a través del agua - en el tiempo de una revolución completa de la hélice a su velocidad dentro del agua - y la distancia teórica que esta viajara si esta avanza el paso completo de la hélice. Esta diferencia se denomina paso aparente (Deslizamiento A) y se expresa como un porcentaje del avance teórico de la hélice (paso multiplicado por RPM). (Gerr, 2001: pp. 20-53)

$$\text{Deslizamiento } A = \frac{(P/12 \times RPM) - (\text{nudos} \times 101.3)}{(P/12 \times RPM)}$$

Lo que puede expresarse como:

$$P = \frac{\text{nudos} \times 1215.6}{RPM \times (1 - \text{Deslizamiento } A)}$$

Donde:

Deslizamiento A: Deslizamiento aparente

P: Paso de cara de la hélice [*pulgadas*]

Nudos: Velocidad de la embarcación en el agua [*nudos*]

RPM: Revoluciones por minuto de la hélice.

Con esta ecuación se tiene el paso de la hélice que servirá para determinar los demás factores.

2.6.2.4 *Determinación del diámetro*

Para determinar el diámetro de la hélice se tiene dos factores importantes los cuáles son la potencia del motor con relación a las RPM del eje y la relación del casco. En las embarcaciones de alta velocidad se tiene excepciones donde son más eficientes las hélices mientras más grande sea su diámetro. Para estos casos mientras menor RPM se tenga mayor será el diámetro de la hélice.

Para determinar el diámetro de la hélice se tiene en cuenta la siguiente ecuación, la cual es muy útil para la mayoría de las embarcaciones. (Gerr, 2001: pp. 20-53)

$$D = \frac{632.7 \times SHP^{0.2}}{RPM^{0.6}}$$

Donde:

D: Diámetro de la hélice [*pulgadas*]

SHP: Potencia al eje en la hélice

RPM: Revoluciones por minuto de la hélice.

Según el número de palas que se tenga instaladas se termina un factor para el diámetro y para el paso.

2.6.2.5 *Empuje a una determinada velocidad*

El empuje se denomina a la fuerza en libras que genera una hélice al funcionar a una determinada velocidad. Este muy importante calcular el empuje en embarcaciones de trabajo que deban mover grandes cargas, en embarcaciones de recreo es de menor importancia. (Gerr, 2001: pp. 20-53).

$$T = \frac{326 \times SHP \times e}{Va}$$

Donde:

T: Empuje [*libras*]

SHP: Potencia al eje en la hélice

e: Eficiencia de la hélice

Va: Velocidad del agua en la hélice [*nudos*]

También se debe tener en cuenta que una hélice tenga mayor empuje y mayor velocidad será mucho más eficiente.

2.7 Capacidad de baterías

Para una buena instalación de las baterías se debe saber la capacidad máxima de energía que se puede aprovechar en condiciones específicas, es decir, que depende del consumo de los aparatos electrónicos a los que esté conectados para funcionar.

Las baterías también presentan un porcentaje de descarga lo que representan que pierden su capacidad máxima de carga conforme pasa el tiempo, por el calor y por el deterioro que presentan por el constante uso. (AutoSolar, 2021)

Para identificar a una batería esta presenta un código que está dado por “CX” y “Ah”, donde CX es el tiempo de descarga y Ah representa los Amperios hora y es la corriente de dicha descarga, estas características siempre se dan para un voltaje fijo.

Si se tiene por ejemplo una batería de C10 50Ah, representa que la batería de 50Ah puede descargarse durante 10 horas, este código se puede representar para tiempos de 10, 20 y 100 para las diferentes corrientes. (AutoSolar, 2021)

2.7.1 Cálculo de la capacidad de una batería

Para determinar la capacidad de una batería se debe seguir los siguientes pasos:

- 1) Calcular la capacidad de amperios – hora.

$$C = X * T$$

Donde:

X: es la capacidad de amperios que necesita la aplicación

T: es el tiempo en horas

- 2) Calcular la capacidad de la batería para no tener que descargarla por completo, para esto se elige un porcentaje que se quiere para mantener un porcentaje extra, es por esto por lo que se puede tener 40, 50, 60, 70, 80 por ciento para mantener la vida de la batería. De esta forma se tiene el valor real de la capacidad de la batería.

$$C^* = \frac{C}{\%Cg. ext}$$

- 3) Al valor obtenido se lo redondea a un valor aproximado de una batería que se lo pueda conseguir fácilmente en el mercado. (AutoSolar, 2021)

2.8 Sistema de control

El sistema de control es aquel que se encarga del correcto funcionamiento de un equipo teniendo este que cumplir de manera efectiva las tareas para las que fue programado, por esta razón este sistema permite mejorar y optimizar los procesos, para que una sola persona sea capaz de manejar todos los procesos. Generalmente, en todos los sistemas de control se usan componente de distintos tipos tanto mecánicos, eléctrico, hidráulicos, neumáticos, etc. Por tal motivo un ingeniero que trabaje en este campo debe estar familiarizado con los principios fundamentales que rigen estos sistemas.

En los sistemas de control automático se debe tener en cuenta que la retroalimentación es lo más importante, así como la elección correctamente de las entradas para que las salidas sean según como se espera. Finalmente, estos sistemas trabajan con el siguiente esquema: extrada, sistema de control y salida. (Pérez et al, 2007)

2.8.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo de entrada que da como resultado una salida manipulable de la variable física que se mida además la señal entregada se encuentra en un dominio específico ya sea de tipo analógico o digital que son los más utilizados en los sistemas de medida y pueden clasificarse de acuerdo con dos criterios que son: por el principio de transducción utilizado o por el tipo de variable a medir.

- **Según el principio de transducción**

En la Figura 10-2 se detalla la clasificación por el tipo de transductor.

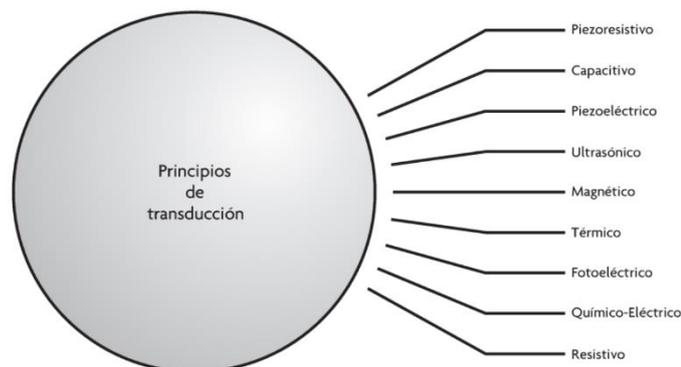


Figura 10-2: Clasificación de sensores por principio de transducción

Fuente: Corona et. al. 2016

- **Según la variable a medir**

Suele ser la más común, pero suele causar confusión ya que un mismo sensor se puede usar para la medición de distintas variables. Así por ejemplo un sensor ultrasónico resulta muy útil para medir proximidad, nivel de líquido o presencia de un objeto etc. La clasificación se describe en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Clasificación de sensores según la variable física a medir.

Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición; velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y pH.
	Biométricos
	De corriente

Fuente: Corona et al. 2016. pp. 18

Realizado por: Tapia, C; Merino, L. 2022

Los sensores constan de características estáticas y dinámicas importantes que son:

- **Sensibilidad:** Es la entrada mínima que causa una respuesta por parte del sensor.
- **Rango:** El rango de un sensor se define como el intervalo dado entre el valor mínimo y máximo de la variable física que puede medir éste.
- **Precisión:** Se define como el máximo error esperado en la salida del sensor para la variable física medida.
- **Exactitud:** La exactitud es la diferencia máxima entre la salida actual del sensor y el valor real de la variable medida y se expresa de manera porcentual.
- **Tiempo de respuesta:** Es el lapso comprendido desde que la variable censada muestra un cambio de estado y el sensor lo registra, éste depende del tipo de magnitud y del sensor utilizado.
- **Histéresis;** Es la capacidad que tiene el sensor para seguir a la curva de salida ideal con respecto a los posibles cambios en la variable física medida. (Corona et al., 2016; pp.2-25)

2.8.2 Actuadores

Un actuador eléctrico es aquel dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Su principio de funcionamiento se fundamenta en el efecto se crea en una espira cuando circula corriente eléctrica dentro de la acción de un campo magnético. Esto genera una fuerza electromagnética en la espira, la cual produce un desplazamiento perpendicular a las líneas de acción del campo magnético, como se puede ver en la Figura 11-2.

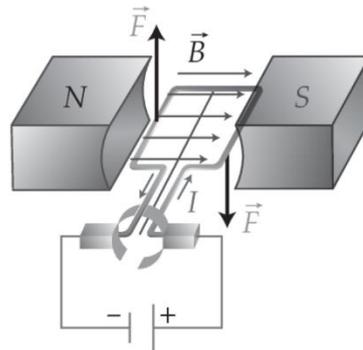


Figura 11-2: Acción del campo magnético en una espira

Fuente: Corona et. al. 2016

Si se requiere que la magnitud de la fuerza de desplazamiento sea mucho mayor que la que produce una espira, entonces es necesario utilizar un conjunto de espiras. En general, a este conjunto de espiras se le conoce como devanado del motor. (Corona. al. 2016)

- **Motores de corriente directa (CD)**

En la Figura 12-2 se puede observar un motor de corriente directa el cual está compuesto por un rotor siendo la parte móvil que proporciona la fuerza que actúa sobre la carga mecánica y un estator que es la parte fija que provee el magnetismo necesario para generar la fuerza electromotriz. Una característica importante de estos motores es que la velocidad de giro depende exclusivamente del voltaje y el torque depende de la corriente que circula por él.

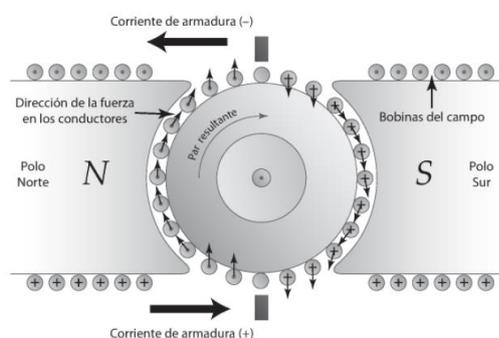


Figura 12-2: Dirección de fuerzas de un motor CD imán permanente

Fuente: Corona et. al. 2016

La suma de las fuerzas electromotrices que se producen en las espiras conductoras genera un par de fuerzas del motor, este par tiene

- **Motor paso a paso**

Los motores paso a paso son aquellos en que la conmutación se logra a través de algún sistema electrónico o tarjeta microcontroladora, como la tarjeta Arduino, la cual alimentan los devanados internos del motor con una secuencia de pulsos; por tanto, no son necesarias las escobillas o algún conmutador mecánico. El eje motriz es capaz de avanzar un determinado valor en grados, que puede ir desde 1.8° hasta 90° , según sea la secuencia que se indique, los tipos de motores paso a paso son los siguientes.

2.9 Protocolo de pruebas

Un protocolo de pruebas es un proceso que se debe llevar a cabo para ver el perfecto funcionamiento de una máquina o equipo, este se lo realiza mediante documentos técnicos que deben poseer los criterios específicos para validar un determinado componente.

Para el correcto desarrollo de un protocolo de pruebas se debe llevar a cabo una determinada metodología, la cual es descrita a continuación:

- Reconocimiento de la necesidad
- Investigación preliminar
- Planteamiento de objetivos
- Determinación de los parámetros a evaluar
- Desarrollo del formato del protocolo de pruebas
- Evaluación y pruebas de la máquina o equipo. (Malla y Samaniego, 2017)

2.9.1 Formato de un protocolo de pruebas

El formato de un protocolo de pruebas debe contener toda la información básica para saber en qué condiciones y que elementos se van a analizar. Esta información debe estar ubicada de forma esquemática para obtener los resultados correctos en cada sistema a evaluar, la información que debe contener esta son las siguientes:

- Bases para la elaboración del protocolo
- Distribución del contenido
- Clasificación de los sistemas
- Reconocimiento de los métodos de diagnóstico
- Fases del protocolo (Malla y Samaniego, 2017)

2.9.1.1 Métodos de diagnóstico para el protocolo de pruebas

Identificar los métodos de diagnóstico son muy importantes para saber de que forma se van a evaluar los diferentes sistemas y fases de la máquina y equipo, debido a que facilita el reconocimiento de cómo se realizará la respectiva prueba. Los métodos de evaluación se describen en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Métodos de diagnóstico del protocolo.

Identificador	Método	Descripción
	Herramientas	Es necesario el uso de herramientas para realizar la evaluación.
	Manual	Es necesario el uso de las manos para efectuar la evaluación.
	Visual	Se usa solo la mirada para la evaluación.
	Auditivo	Es necesario escuchar para realizar la evaluación.

Fuente: Malla y Samaniego. 2017

Realizado por: Tapia, C; Merino, L. 2022

2.10 Software de diseño y validación

2.10.1 SolidWorks

Es un software CAD desarrollado por la compañía Dassault Systems para el diseño mecánico 3D. El programa basa su potencial en el modelado paramétrico de sólidos que utiliza un procesador Kernel Parasolid.

Se trata de un programa que da la capacidad de realizar el proceso completo de diseño mecánico, partiendo desde la concepción de la idea hasta la realización de planos técnicos necesarios para su fabricación.

Con su interfaz y herramientas como Pieza, ensamblaje y dibujo el operador puede modelar en tres dimensiones la pieza y obtener de forma fácil las vistas necesarias para concebir los planos. Junto a estas características, además SolidWorks incluye herramientas de productividad, de gestión de proyectos, presentación y de análisis y simulación que lo hacen un competidor fuerte en el mercado. (Rodríguez Vidal, 2015)

Los programas CAD paramétricos como SolidWorks han permitido un ahorro considerable de tiempo y dinero en las fases de desarrollo de un producto si son comparados con sistemas antiguos. Esto se debe a que la creación de dibujos 2D para luego crear los modelos tridimensionales ya no es necesaria. Con SolidWorks el diseñador puede trabajar directamente en 3D a partir de un croquis de los cuales nacen las geometrías básicas tridimensionales, luego una vez culminada la pieza, el propio programa se encarga de la generación de planos de fabricación. De esta forma se puede acercar más el proceso CAD al proceso natural de diseño del ser humano. (Rodríguez Vidal, 2015)

2.10.2 ANSYS

ANSYS es uno de los softwares de ingeniería utilizado para la simulación y validación de productos manufacturados y proceso industriales por medio de la utilización de elementos finitos, debido a que cuenta con las herramientas CAE en diferentes áreas como fluidos, dinámica, análisis estructural, electromagnetismo y multifísica.

Este software tiene ventajas significativas como la excelencia, precisión, escalabilidad y arquitectura adaptativa, con todas estas se genera un valor agregado para los proyectos de ingeniería, proporcionando eficiencia, generando innovación y reduciendo restricciones físicas, permitiendo realizar pruebas que no se las puede hacer en pruebas con un prototipo.

Para hacer un correcto análisis en ANSYS se debe realizar los siguientes puntos clave:

- **Pre-proceso:** Se establece el modelo, se modela la geometría del problema. Se debe establecer las características de mallado para que los resultados sean los más aproximados por medio de los puntos o nodos, que estos son los elementos finitos que forman el volumen del material, esta malla debe aplicar utilizando las respectivas técnicas de mallado o un mallado automático. Se deben definir los materiales todos los elementos a analizar.
- **Proceso:** En el proceso se debe aplicar respectivas restricciones, también se debe aplicar las cargas que se manejan valores de fuerza, tracción, desplazamiento, momento o rotación. Finalmente se obtiene las soluciones requeridas.
- **Postproceso:** Se puede ver la geometría analizada de acuerdo con las soluciones requeridas, obteniendo los resultados por medio de una barra de colores, con los valores conseguidos o se puede extraer una tabla de resultados. (Ansys, 2020)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico de un proceso de investigación debe tener en cuenta todos los factores que influyen en el proceso de diseño, como su contexto, sus condiciones, sus cambios y principios. Es por aquel motivo que este contextualiza profundamente en el problema, no sólo por parte teórica sino también práctica, viendo la forma de estudiar los diversos factores que afectan al mismo. (Sabino, 1992)

Este trabajo es de carácter explicativo sin intervención, pues pretende demostrar, probar y evidenciar que el diseño y construcción de este prototipo presenta una solución a las causas del problema sobre la contaminación por residuos flotantes en aguas lénticas. Además, según el control se tiene una investigación de carácter prospectivo ya que las mediciones fueron planeadas.

3.1 Definición del producto

El diseño del prototipo recolector de desechos flotantes partió del análisis de las especificaciones, requisitos y necesidades de los posibles usuarios, aplicando los conceptos de Ingeniería Concurrente, por medio de un análisis QFD del cuál se obtuvo los requerimientos técnicos, de servicio y económicos, de forma estructurada, organizada y controlada.

3.1.1 *Función casa de la calidad*

Al aplicar este método se tuvo una comunicación entre el cliente y el ingeniero, para que este pueda definir las características técnicas que tendrá el prototipo, de esta manera se obtuvieron diferentes alternativas de solución para concebir un producto competitivo y que cumpla con las necesidades del cliente.

3.1.1.1 *Requerimientos del cliente*

Mediante encuestas realizadas en cuatro lagunas del Ecuador con 3 muestras en cada lugar, se identificó las necesidades del cliente. Ver Anexo I.

Las categorías de análisis fueron las siguientes:

- **Costos**
 - Costo de fabricación y operación
 - Costos de mantenimiento.
- **Funcionalidad**
 - Recolección de desechos
 - Autonomía
 - Velocidad de Recolección
 - Maniobrabilidad
 - Facilidad de control
 - Montaje y desmontaje
 - Implementación de accesorios
 - Transmisión de imágenes en tiempo real
- **Diseño**
 - Geometría
 - Dimensiones
 - Peso
 - Materiales
- **Capacidad Operativa**
 - Capacidad de recolección
 - Tiempo de servicio
 - Ubicación
 - Operación a largas distancias
 - Clasificación de residuos
- **Seguridad y Medio Ambiente**
 - Alertas
 - Informes de estado de recolección
 - Contaminación del agua
 - Nivel de ruido
 - Energía limpia
 - Manual de operación

Los requerimientos del cliente se dividieron en 3 características las cuales se detallan en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: Valores de los requerimientos del cliente

Requerimientos del cliente	
O	Obligatorio
B	Básico
E	Estimulante

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.1.1.2 *Análisis de competencias*

- **WasteShark**

WasteShark es un aquadrone diseñado por la empresa holandesa RanMarine Technology, fue construido principalmente para eliminar plásticos y desechos flotantes que se encuentren en puertos marinos, canales y ríos de este país, su capacidad de recolección puede llegar hasta los 500 kg de basura. Una representación de equipo se puede ver en la Figura 1-3.



Figura 1-3: WasteShark

Fuente: University of Bremen. 2018

Entre las principales características de este recolector de desechos tenemos:

- Su propulsión es eléctrica lo que no produce emisiones de carbono.
- Es compacto sus dimensiones son 157cm x 52cm x 109cm y un peso de 72kg.
- Es muy fácil de operar, con un alcance de 5km y una velocidad de 3km/hora.
- El tiempo de trabajo es hasta 6 horas al día y presenta una batería recargable.
- Su control de dirección es por medio de un control remoto.
- Ocupa energía limpia por medio de paneles solares.
- El costo del equipo es de \$17 000. (DFKI GmbH & University of Bremen, 2018)

- **The Interceptor**

The Interceptor es una máquina recolectora de plásticos construida en Malasia con ayuda de la empresa ambiental “The Ocean Clean Up”, esta se puede observar en la Figura 2-3. Para su construcción en gran escala se ha hecho convenio con Konecranes en Klang y así poder implementarla en otras partes del mundo a medida que se vayan desarrollando nuevos dispositivos.



Figura 13-3: The Interceptor

Fuente: General. 2020

Las partes de esta máquina se describen a continuación:

- **Cinta transportadora:** cuenta con una cinta transportadora de 2.5 metros de ancho, con estas dimensiones permite un flujo menos obstructivo y una mejor distribución de los desechos a los contenedores de basura.
- **Barcaza y contenedores de basura:** cuenta con 6 contenedores de basura 3 a cada lado, lo que ayuda a que la transferencia de un transportador a otro sea mucho más sencilla y eficaz, este dispositivo es capaz de recoger hasta 50m³ de basura.
- **Sistema de energía:** el diseño del Interceptor presenta paneles de células solares monocristalinos mejorados y así como también un sistema de almacenamiento de energía inteligente, siendo así más pequeño, pero cumpliendo con la demanda requerida de energía solar al 100% para operar el Interceptor.
- **Estructura del catamarán:** Esta máquina presenta un diseño modular para facilitar el montaje, transporte y la implementación rápida a nivel mundial. (General, 2020)

- **Mr. Trash Wheel**

Es un equipo construido en Baltimore para la recolección de basura que contamina el río Jones Falls, está formado por una rueda gigante que ayuda a sacar toneladas de basuras contaminantes evitando de esta manera que lleguen al océano, siendo así una herramienta muy eficiente para el cuidado del medio ambiente, tiene una capacidad de recolectar 15 toneladas por día.

Entre las ventajas presenta en su operación es que no tienen un gasto adicional, tampoco genera una contaminación mayor, lo que da como resultado un lugar más limpio para la acogida de turistas, la implementación de este equipo se puede ver en la Figura 3-3. (Treacy, 2018)



Figura 3-3: Mr. Trash Wheel

Fuente: Álvarez. 2017

El funcionamiento de este recolector se lo describe a continuación:

- Es un equipo estático que cuenta con una barrera flotante que arrastra los desechos hacia la boca de este con ayuda de unos rastrillos los desechos son levantados y ubicados en una cinta transportadora, que posteriormente son dirigidos hasta la parte donde está ubicado un contenedor donde se recogen la basura.
- Presenta una rueda que se mueve por medio de la corriente de agua, esta se conecta a un sistema de engranajes para que se mueva la banda transportadora y cuando estas corrientes son muy lentas cuenta con paneles solares en la parte superior para que el funcionamiento sea continuo. (Álvarez, 2017)

En el análisis de la competencia se utilizó un rango de valores, los cuales se detallan en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Valores para el análisis de competencias

Valores análisis de competencias	
5	Satisface Plenamente
4	Satisface Básicamente
3	Satisface
2	Cumple
1	No Satisface

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.1.1.3 *Voz del ingeniero*

Los requerimientos del cliente fueron traducidos a parámetros técnicos que son la voz del ingeniero, los cuales se detallan a continuación:

- **Costos**
 - Costo máximo
 - Tiempo de vida útil
- **Funcionalidad**
 - Mecanismo de recolección
 - Algoritmo de control
 - Velocidad de recolección
 - Sistema de maniobrabilidad
 - Interfaz de usuario
 - Almacenador desmontable
 - Complementos
 - Cámara resistente al agua
- **Diseño**
 - Modelo
 - Dimensiones
 - Flotabilidad
 - Resistencia a condiciones de trabajo
- **Capacidad Operativa**
 - Carga máxima
 - Tiempo de servicio
 - GPS
 - Control remoto
 - Sensores de distinción
- **Seguridad y Medio Ambiente**
 - Sensores y conectividad
 - Monitoreo remoto
 - Hermeticidad
 - Nivel de ruido
 - Fuente de energía renovable
 - Manual de operación

3.1.1.4 Correlaciones

En esta sección se desarrolló el cuerpo de la casa de la calidad mostrando las características técnicas para satisfacer al cliente en cada una de sus demandas.

La Tabla 3-3 ayudó a identificar los valores del factor de incidencia, donde no existió relación se dejó el espacio en blanco.

Tabla 3-3: Valores de relación del factor de incidencia

Factor de Incidencia	
●	Fuerte = 9
○	Medio = 3
-	Bajo = 1

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.1.1.5 Evaluación técnica

Se realizó el análisis de como los competidores principales y secundarios han abordado las características técnicas presentadas en la voz del ingeniero, así se determinó cuál de ellas presentaron un mayor porcentaje de incidencia, para especificar de una manera más acertada los valores de referencia que los harán competitivos.

$$Incedencia = \sum Corr * H$$

Donde:

Corr: Correlaciones

H: Valor de ponderación

3.1.2 Casa de la calidad

En el anexo B se detalla los requerimientos del análisis de la casa de la calidad, con las respectivas ponderaciones en cada una de sus secciones.

3.1.3 Resultado de la matriz QFD

Partiendo de la voz del usuario y la del ingeniero, se procedió a la construcción de la casa de la calidad, desarrollando el cuerpo de esta donde se colocaron las correlaciones existentes entre estas dos características, en la parte derecha se describió el análisis de las competencias y los objetivos

a los que se quiere llegar. En el techo se detalló las relaciones que existen entre los parámetros técnicos de la voz del ingeniero que pueden ser: muy positivos, positivos, negativos y muy negativos.

En la parte inferior de la casa de la calidad se ha realizado el análisis de las incidencias de cada una de las características técnicas, encontrando la mayor incidencia en aquellas que necesariamente debe cumplir el prototipo y así conseguir la satisfacción del cliente, los parámetros más altos fueron: el costo máximo, el mecanismo de recolección, algoritmo de control, velocidad de recolección, interfaz de usuario, almacenador desmontable, cámara resistente al agua, dimensiones, carga máxima, tiempo de servicio, control remoto, sensores y conectividad, monitoreo remoto y la fuente de energía.

3.1.4 Especificaciones del producto

Las especificaciones que deberá cumplir el prototipo se muestran en la Tabla 4-3, siendo estas características medibles para que al momento de realizar el diseño de producto se verifiquen su cumplimiento.

Tabla 4-3: Especificaciones del producto

Especificaciones del producto	
Costo máximo	\$10000
Mecanismo de recolección	Rejilla y bandas laterales
Algoritmo de control	Semiautomático
Velocidad de recolección	0.015 kg/s
Interfaz de usuario	LabVIEW
Almacenador desmontable	Sí
Cámara resistente al agua	Sí
Dimensiones del prototipo	Máx. 120x70x160 cm
Carga máxima	Máx. 500 kg
Tiempo de servicio	8 horas
GPS	Sí
Control remoto	Radio frecuencia
Sensores y Conectividad	Sí
Monitoreo remoto	Telemetría
Fuente de energía	Baterías

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.2 Diseño conceptual

Una vez definidas las características técnicas que tendrá el prototipo, se realizó el análisis conceptual por medio del desarrollo de la estructura funcional siendo esta el punto de partida en la determinación de los módulos y así encontrar las posibles soluciones para cada uno de estos, Finalmente, se desarrolló la evaluación de las alternativas y así encontrar la mejor opción.

3.2.1 Estructura funcional

La principal función de este prototipo es la recolección de residuos flotantes en aguas lénticas y las funciones secundarias son aquellas que permiten llevar a cabo la función principal o primaria de una manera adecuada. La estructura funcional es usada para describir la transformación entre flujos de entrada y salida. Es decir, es una representación esquemática muy general, pero se la puede dividir en subfunciones y establecer relaciones de flujo entre subfunciones para que esta sea más precisa. (Riba, 2002)

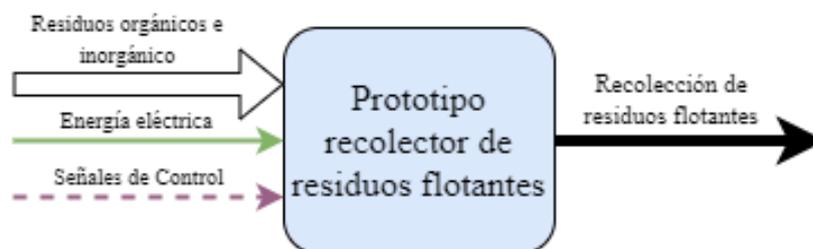


Figura 4-3: Análisis funcional del prototipo

Realizado por: Tapia C, Merino, L. 2022

En la Figura 4-3, se puede observar el análisis funcional del prototipo recolector de residuos flotantes, donde en la parte izquierda se encuentra los residuos orgánicos e inorgánicos que se encuentren en aguas lénticas. La energía eléctrica que permite el funcionamiento del prototipo y las señales de control que permitirán que el prototipo cumpla su función. Finalmente, a la derecha se obtiene la función de recolección de residuos flotantes.

3.2.2 Definición de módulos

Como la función principal no se mostró a detalle, se estructuró los subsistemas del prototipo desarrollando el Nivel 1 o diagrama de procesos, en donde se detallan los pasos que debe cumplir para realizar la función para la cual se va a diseñar, la secuencia se ve en la Figura 5-3.

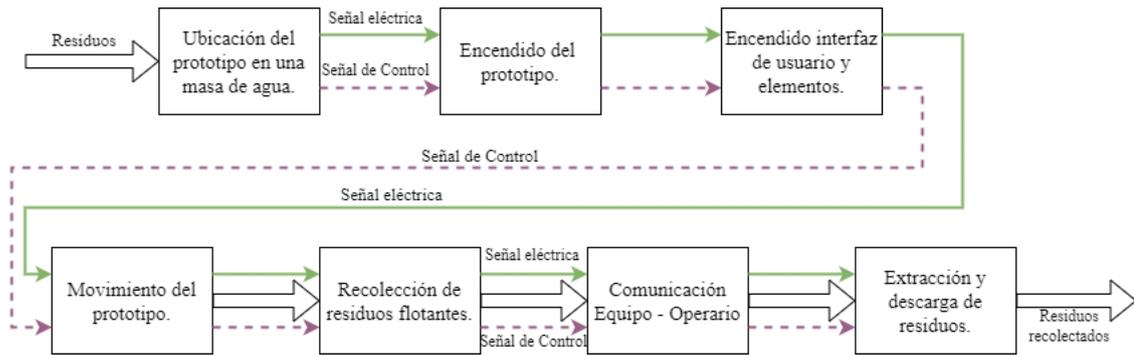


Figura 5-3: Diagrama de procesos

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Para el correcto diseño del prototipo se definieron dos módulos de análisis el primero que es el módulo mecánico y el segundo que es el módulo de control, de esta manera se procedió a hacer el análisis de alternativas para cada uno y encontrar cuál es la mejor opción en costos y funcionalidad.

3.2.3 Alternativas de solución módulo mecánico

El módulo mecánico está orientado al correcto funcionamiento del prototipo en los sistemas estructurales, sistema de recolección y almacenamiento, sistema de propulsión y maniobrabilidad.

3.2.3.1 Tipo de casco

- **Plano**

Un casco plano presenta ventajas económicas pues su costo de construcción es bajo, además apenas tienen calado lo que favorece la navegación y maniobrabilidad en aguas lénticas, como muestra la Figura 6-3. (Airstep, 2018)

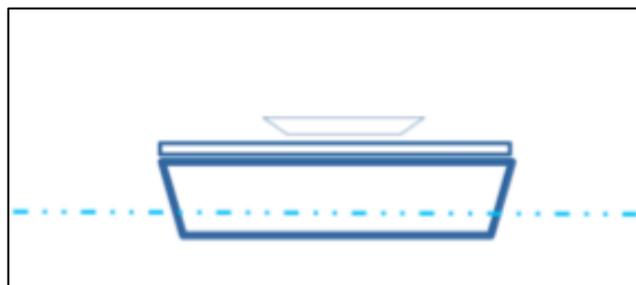


Figura 6-3: Casco plano

Fuente: Airstep. 2018

- **Redondo**

Este tipo de cascos presentan facilidad de desplazamiento a velocidades lentas, pues navegan desplazando el agua equivalente a su peso alrededor del casco. Requieren menos potencia, son seguros y muy cómodos pero debido a su forma tienden a rodar por lo que necesitan estabilizadores, su forma se la puede ver en la Figura 7-3. (Airstep, 2018)

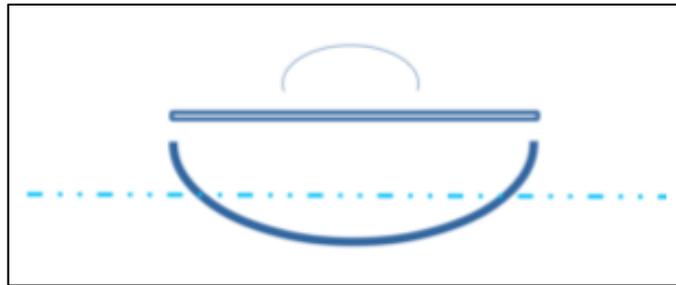


Figura 7-3: Casco redondo

Fuente: Airstep. 2018

- **Multicasco**

Es utilizado para grandes embarcaciones en las cuales se necesite de mucho espacio a bordo ya sea para vida o almacenamiento. Son muy utilizados en catamaranes y casas flotantes. Por sus varios cascos son embarcaciones muy estables, como se muestra en la Figura 8-3. (Airstep, 2018)

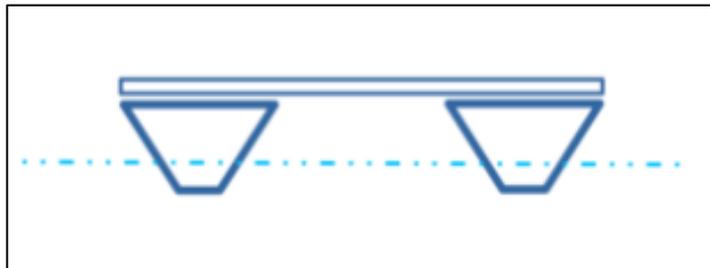


Figura 8-3: Multicasco

Fuente: Airstep. 2018

3.2.3.2 *Material*

- Acero
- Fibra de vidrio
- Aluminio

3.2.3.3 *Recolección*

- **Banda transportadora**

El mecanismo por bandas transportadoras se utiliza para una recolección automática como muestra la Figura 9-3, evitando el factor humano en la recolección y transporte de residuos al lugar donde se los va a almacenar, este funciona por medio de cangilones o recipientes. (HOU and MENG, 2008).

Entre las ventajas de las bandas transportadoras tenemos:

- Su funcionamiento es continuo y permite controlar la distancia a la que se requiere transportar.
- Se puede instalar en cualquier lugar.
- Su funcionamiento y mantenimiento no implica mucho control.
- Presenta una gran capacidad de transporte, pudiendo desplazar diferentes tipos de materiales de un lugar a otro.



Figura 9-3: Recolección por bandas

Fuente: HOU y MENG. 2008

- **Banda de arrastre lateral**

Las bandas de arrastre lateral tienen la misma funcionalidad que una banda transportadora, con la diferencia de que éstas están colocadas en forma de una V la cual sirve para atraer y posteriormente poder ubicar determinados objetos en cierto lugar. Presenta ventajas como una mayor área de abastecimiento y trabajo continuo, se puede transportar de un lugar a otro una mayor cantidad de materiales y en menor tiempo. Entre las desventajas tenemos que es más costosa ya que se debe instalar dos bandas. La forma de la apertura de estas bandas se ve en la Figura 10-3.

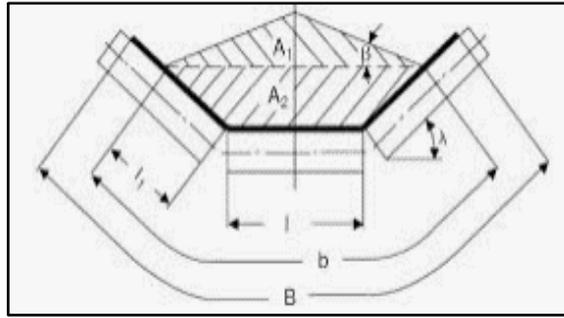


Figura 10-3: Recolección por bandas laterales.

Fuente: HOU and MENG. 2008

- **Vórtice**

El vórtice es el movimiento que se da en el agua en forma de un espiral que desde el punto de vista matemático este fenómeno se define por el rotor del campo de velocidades y es un campo vectorial. El rotor también se conoce con el nombre de rotacional, y es un operador vectorial que expresa la tendencia que un campo vectorial tiene a inducir rotación en torno a un punto. Para que se cree este movimiento se tiene un motor que generará el movimiento circular, esto se ocupa principalmente en mecánica de fluidos. La forma del vórtice se ve en la Figura 11-3. (Morones, 2021)



Figura 11-3: Recolección por vórtice

Fuente: HOU and MENG. 2008

3.2.3.4 Almacenamiento

- **Rejilla**

Una rejilla se la puede incorporar a una máquina o equipo la cual puede servir para almacenar determinados objetos según las dimensiones que presente. El material de la rejilla puede ser de aluminio, acero o acero inoxidable dependiendo de las condiciones en las que se utilizará. La rejilla al formar parte de un equipo para recolectar desechos viene a ser útil ya que puede ser montable y desmontable, brindando una mayor facilidad y resistencia a la hora de recolectar basura, como se muestra en la Figura 12-3.



Figura 12-3: Almacenamiento de rejilla

Fuente: Salazar. 2019

- **Red**

Una red es un conjunto de hilos tejidos entre sí para formar una malla, dependiendo de lo que se va a recoger se especifica la separación del tejido ya que puede ser grande o pequeño. El material del que están hechas generalmente es de poliamidas artificiales como nylon, como se puede observar en la Figura 13-3. El costo de fabricación es económico, pero presentan inconvenientes en su resistencia ya que dependiendo el material a recolectar se puede llegar a dañar o romper, implicando costos para volver a comprar una nueva. (Fritz, 2020)



Figura 13-3: Almacenamiento de red

Fuente: Fritz. 2020

- **Contenedor**

Un contenedor es un elemento en el cual se puede almacenar y transportar determinados materiales de un lugar a otro. Su instalación es muy fácil ya que puede ser adaptado a cualquier medio de transporte ya sea aéreo, acuático o terrestre. Los materiales con los que este fabricado son generalmente acero y aluminio. Su montaje y desmontaje es fácil, aunque puede llegar a ser muy pesado, la forma de estos se puede ver la Figura 14-3.



Figura 14-3: Almacenamiento por contenedor

Fuente: Pérez. 2018

3.2.3.5 Propulsión y maniobrabilidad

- **Hélice de paso fijo**

Es el más común y su funcionamiento es similar a un tornillo, al girar accionado por el eje propulsor que lo enlaza con el motor o maquina primaria, este se enrosca en el agua por lo tanto produce un movimiento de avance o retroceso según el sentido de giro de la hélice. El sistema de propulsión de hélice está controlado por diferentes pasos estos son: fijo variable y controlado, estos se definen por los ángulos de la cara de las aspas lo que quiere decir que mayor ángulo, mayor es el paso, la forma de esta hélice se muestra en la Figura 15-3.



Figura 15-3: Hélice de paso fijo

Fuente: Ibarra. 2020.

- **Hélice de paso variable**

Este tipo de hélice es ocupada generalmente para aprovechar al máximo la velocidad de grandes barcos o embarcaciones. En el diseño estas hélices pueden variar en cada radio, aunque son más comunes aquellas donde el paso suele reducirse cerca de las puntas para reducir así la presión sobre las palas para evitar así la cavitación. En estas hélices sus palas pueden girar alrededor de un eje largo para cambiar su ángulo de ataque. Si este ángulo se puede establecer en valores negativos, la hélice puede producir un empuje inverso para frenar o dar marcha atrás sin cambiar la dirección de rotación del eje, esta se la puede ver en la Figura 16-3. (Ibarra, 2020)



Figura 16-3: Hélice de paso variable

Fuente: Ibarra. 2020

- **Propulsor a chorro**

Consiste en lanzar una masa de agua por medio de un adecuado sistema de bombas hacia atrás a través de un conducto llamado tobera, de forma que al salir genere un impulso y por ende se dé un movimiento hacia adelante, si el movimiento deseado es hacia atrás se coloca un desviador de empuje que causa una deflexión en el chorro cambiando su sentido y movimiento final. Este tipo de propulsión es muy utilizado en motos acuáticas debido a que es más seguro ya que no presenta una hélice. Presente ventajas como una mayor velocidad y aceleración, se puede navegar en aguas poco profundas, existe una reducción de vibraciones y presente una mayor eficiencia. Este sistema de propulsión a chorro generalmente se lo conoce como waterjet y su forma se la muestra en la Figura 17-3. (Torterat, 2019)



Figura 17-3: Propulsor a chorro (Waterjet)

Fuente: Torterat. 2019

3.2.3.6 *Energía*

- **Panel solar**

Los paneles solares es una forma limpia de generar energía limpia, en la actualidad se ha empezado a posicionar en el mercado. Entre las ventajas de este tipo de energía es que no tiene emisiones contaminantes, no genera ruido, es compatible con otro tipo de energía, a largo plazo genera un ahorro económico. Presenta desventajas como que la inversión inicial es elevada, su potencia es limitada y presenta una dependencia del clima. Algunos de estos paneles se los puede observar como en la Figura 18-3. (Hilcu, 2021)



Figura 18-3: Panel solar

Fuente: Hilcu. 2021

- **Batería**

Las baterías son una forma de almacenar energía eléctrica en forma de energía química y luego se puede liberar esta como corriente de una manera controlada. Estas baterías poseen un electrodo positivo y un negativo sumergido en un electrolito, estas se pueden observar en la Figura 19-3. Las ventajas que tiene es su elevada densidad de energía, poco peso, careen de efecto memoria, tiene una descarga lineal y el costo de instalación y mantenimiento es bajo. Las desventajas es que puede sobrecalentarse, tienen un tiempo de duración media escasa. (Marker, 2018)



Figura 19-3: Batería

Fuente: Marker. 2018

- **Combustibles**

Los combustibles es la fuente principal de energía que en la actualidad se ocupa en todo el mundo, los principales son carbón mineral, petróleo y gas natural. Las ventajas que tiene es que son fáciles de extraer, tiene gran disponibilidad y son baratas comparadas con otras fuentes de energía. Las desventajas que tiene es que su uso produce la emisión de gases tóxicos y que contaminan el medio ambiente, los tipos de combustibles se puede ver en la Figura 20-3.



Figura 20-3: Combustibles

Fuente: Marker. 2020

3.2.4 *Alternativas de solución módulo de control*

El módulo de control se encargará del funcionamiento del recolector de desechos flotantes en la parte su movimiento, control e interfaz de operación, es decir será la que permita la interacción entre el usuario y el prototipo.

3.2.4.1 *Control*

- **Autónomo**

Un sistema autónomo permite que un sistema actúa de una manera más eficiente, fiable y segura sin que sea necesario el control humano directo, para esto es necesario la instalación de sensores, actuadores y toda la parte eléctrica que permita que la tarea que desee hacer sea la óptima. (Husain, 2019)

- **Radio control**

Es un sistema semiautomático es decir que permite controlar un objeto por medio de un radiocontrol de manera inalámbrica por medio de ondas de radio, generalmente es utilizado para controlar robots, coches, maquetas o también en aplicaciones militares, científica o en la industria. Una de las desventajas que tiene es que tiene un límite en su radio de alcance.

- **Manual**

La recolección manual reduce la funcionalidad y eficiencia de un equipo ya que implica un trabajo al cien por ciento de la parte humana, lo que viene a ser una tarea mucho más complicada e inexacta, aparte los costos se elevan debido a que se debe pagar a las personas que realicen este trabajo.

3.2.4.2 *Cámara*

- **90 grados, giro por servo motor.**

El ángulo de visión de esta cámara es de 90°, para que se pueda generar una visión mucho más amplia se le puede instalar un servomotor que permita el giro de los 360° de visualización y que los costos sean mucho más bajos, como se ve en la Figura 21-3.



Figura 21-3: Cámara de 90°

Fuente: Rodríguez. 2019

- **180 grados, giro por servo motor.**

Este tipo de cámaras tienen una visualización de 180°, está formada por dos cámaras de 90° que permiten ver de una manera más amplia y se le instalara un servomotor para que pueda girar, el costo es más elevado que una cámara de 90°, la forma que presentan se puede observar en la Figura 22-3.



Figura 22-3: Cámara de 180°

Fuente: Rodríguez. 2019

- **360 grados**

Esta es una cámara completa ya que permite que el usuario pueda ver los 360° sin necesidad de un giro ya que posee una visualización completa, su costo es mucho más elevado que las cámaras de 90° y 180°.



Figura 23-3: Cámara de 360°

Fuente: Rodríguez. 2019

3.2.4.3 *Visión*

- **Pantalla en tiempo real**

La configuración en tiempo real de las imágenes permite una transmisión de video, para así transmitir la información simultáneamente de lo que está pasando al usuario, todo esto se podrá visualizar dependiendo como sea la configuración ya sea en un celular o una computadora. (Silva, 2018)

- **FPV**

La visualización de imágenes en primera persona es muy usada en la actualidad principalmente en los drones, esta envía una señal de video a las respectivas gafas, monitor o un smartphone. Gracias a esto se puede dirigir un dron por donde se necesite.

- **Imágenes**

Una cámara tomará imágenes y estas se enviarán como fotos o capturas a un teléfono celular o computadora, estas serán tomadas en el instante, pero no se podrá ver imágenes en vivo o videos.

3.2.4.4 *Interfaz*

- **LabVIEW**

Este es un software que permite desarrollar un entorno de programación en diferentes ramas de la ingeniería para la adquisición de datos, análisis de estos y la presentación de estos en un lenguaje de programación, sin la necesidad que se implementen otras herramientas de desarrollo. Este programa es muy amigable para el usuario, así como es intuitivo, presenta librerías para el desarrollo en muchas aplicaciones, para que de esta manera el usuario pueda cumplir con su propósito de una manera mucho más fácil. (Universidad de Cantabria, 2019)

- **MATLAB**

Matlab es una aplicación que permite el desarrollo de un lenguaje de programación de alto nivel en el cual se encuentran funciones matemáticas para desarrollar aplicaciones y buscar soluciones en el campo científico y de la ingeniería. Su uso es más complejo ya que su código implica mayor conocimiento. Entre las principales áreas donde se aplica este software es para análisis numérico, métodos numéricos, ecuaciones diferenciales, sistemas dinámicos y todo el campo de la ingeniería. (MathWorks, 2021)

- **Desarrollo de App**

El desarrollo de una aplicación móvil generalmente se la realiza para teléfonos inteligentes u otros dispositivos portátiles, este tipo de aplicaciones se las debe hacer para que sean compatibles para los dos principales sistemas operativos que existen en el

mercado como iOS y Android. Para desarrollar una aplicación móvil se lo puede hacer en lenguajes muy ocupados como C y JavaScript, lo más importante es que la aplicación se adapte y aproveche los beneficios que presenta estos dispositivos móviles. (Kimberly-Clark, 2021)

3.2.4.5 *Comunicación*

- **XBEE**

Un XBEE es un transmisor pequeño de forma inalámbrica que permite la interconexión y conexión entre dispositivos. Su interfaz es muy usada especialmente para radio controlar, drones o un medio de transporte de juguete, ya que es pequeña se puede adaptar sin inconvenientes a estos dispositivos. Estos cuenta con entradas y salidas digitales y analógicas las cuales se pueden conectar a sensores y realizar mediciones de forma remota. (DIGI, 2021)

- **Wifi**

Esta conexión es inalámbrica por medio de radiofrecuencias e infrarrojos, estos son usados para la transmisión de información, entre cualquier tipo de dispositivo en el que se pueda instalar estos. Su alcance es muy limitado teniendo un alcance de 5 a 150 metros de distancia con respecto al emisor de la señal. (Salazar)

- **Lora WAN**

Es un dispositivo para realizar una comunicación entre dos dispositivos LoRa, para redes de baja potencia y un área grande de aplicación. Presenta conexiones bidireccionales con encriptación de extremo a extremo, tiene un consumo de energía bajo, tiene un alcance de 10km a 20km. Su instalación no es compleja y permite que el usuario interactúe de una forma rápida y fácil. (Catsensors, 2020)

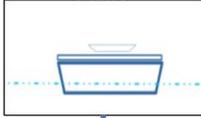
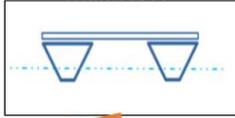
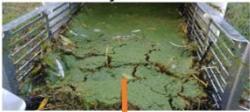
3.2.5 *Matriz morfológica y generación de alternativas*

El análisis de la matriz morfológica se realizó por cada módulo los cuales se dividieron en dos que son: Módulo mecánico y Módulo de control; analizando la casa de la calidad se identificaron las posibles soluciones.

3.2.5.1 Módulo mecánico

En la tabla 5-3 se muestra las 3 posibles soluciones del módulo mecánico, con las características detalladas en el apartado anterior.

Tabla 5-3: Matriz morfológica módulo mecánico

Módulo Mecánico			
Características	Solución A	Solución B	Solución C
Tipo de casco	Plano 	Redondo 	Multicasco 
Material	Acero	Fibra e impresión 3D	Aluminio
Recolección	Banda transportadora 	Bandas de arrastre Lateral 	Vórtice 
Almacenamiento	Rejilla 	Red 	Contenedor 
Propulsión y maniobrabilidad	Hélice de paso fijo 	Hélice paso variable 	Voith schneider 
Energía	Panel solar 	Batería 	Combustibles 

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.2.5.2 Módulo de control

En la Tabla 6-3 se muestra la matriz morfológica del módulo de control para su posterior análisis.

Tabla 6-3: Matriz morfológica módulo de control

Módulo de control			
Características	Solución A	Solución B	Solución C
Control	Autónomo	Radio Control	Manual
Cámara	90 grados giro por servo motor 	180 grados 	360 grados 
Visión	Pantalla tiempo real 	FPV 	Imágenes 
Interfaz	LabVIEW	Matlab	Desarrollo APP
Comunicación	XBEE	WIFI	Lora WAN

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.2.6 Alternativas de solución

Una vez definidas las alternativas se procedió a modelarlas en el software SolidWorks para encontrar cuál es la mejor opción, en la parte del módulo mecánico.

3.2.6.1 Solución A

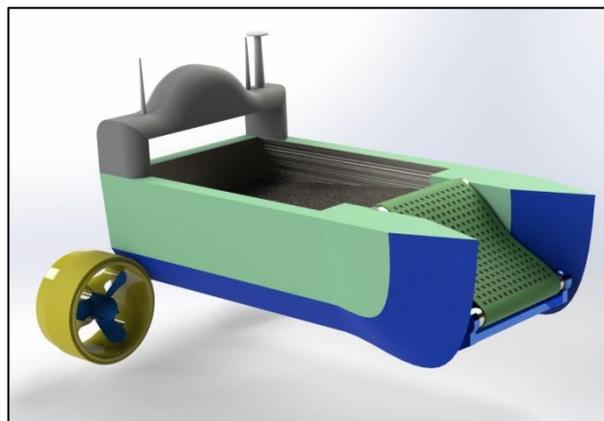


Figura 24-3: Solución A

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Figura 24-3 se encuentra la solución A la cuál presenta un casco plano y construido en acero con una banda transportadora en la mitad que servirá para recoger los desechos flotantes, en la

parte posterior se encontrará un contenedor el cuál será montable y desmontable, según cuan lleno se encuentre, las hélices que servirán para la propulsión y maniobrabilidad. La energía que servirá para la parte automática es por medio de paneles solares.

Las ventajas que presenta está en su funcionalidad ya que permite recolectar los desechos de una forma eficiente al tener una banda transportadora, por medio de sus propulsores permitirá desplazarse por los lagos, el prototipo utilizará energía limpia.

La desventaja que presenta este prototipo está en el costo de fabricación y mantenimiento ya que la instalación de los paneles solares es elevada y depende de muchos factores.

3.2.6.2 Solución B

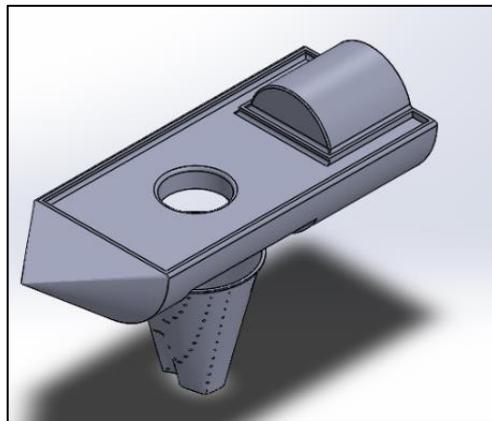


Figura 25-3: Solución B

Realizado por: Tapia C, Merino, L. 2022

En la Figura 25-3 se presenta la solución B, este está compuesta por un casco redondo, el material para su construcción es de aluminio, la recolección se da por medio de la implementación de un vórtice que servirá para la recolección de la basura y estos se almacenarán en una red, la cual puede ser desmontable o reemplazada del prototipo, para su funcionamiento utilizará combustibles como gasolina o Diesel.

La ventaja que presenta está en su costo de fabricación debido a que sus costos no son tan elevados, la propulsión presenta una mayor velocidad y control.

Las desventajas se encuentran en el caso ya que al ser un casco redondo necesita estabilizadores, la malla en la que se recolectará los residuos dependiendo de estos puede llegar a romperse y la energía que ocupa para su funcionamiento es económica, pero puede llegar a ser muy contaminante para el medio ambiente.

3.2.6.3 Solución C

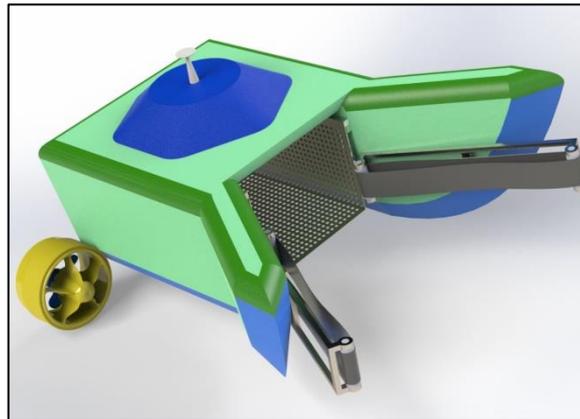


Figura 26-3: Solución C

Realizado por: Tapia C, Merino, L. 2022

El prototipo de la alternativa C se muestra en la Figura 26-3, está formado por un casco en W, se lo construye en impresión 3D y recubierto por fibra para mejorar su flotabilidad, está formado por dos bandas transportadoras a los costados, las cuales servirán para generar una especie de corriente en el agua que servirá para atraer los desechos a la rejilla que se encuentra en la mitad mientras se mueve el prototipo, esta rejilla es montable y desmontable para brindar mayor facilidad al momento de recolectar, esta función se realiza por dos hélices de paso fijo que se encuentran a los costados del casco, este funcionará por medio de energía eléctrica que será almacenada en baterías.

Las ventajas que presenta este dispositivo están en su funcionalidad debido a que por su casco la capacidad de flotabilidad y en su propulsión ya que con la ayuda de las hélices de paso fijo se puede controlar su velocidad y maniobrabilidad. Al tener dos bandas transportadoras en forma de V permite que la recolección sea mucho más eficiente. La utilización de energía eléctrica para recargar las baterías ayuda que se utilice energía limpia. Finalmente, los costos de instalación y mantenimiento son más bajos con relación a la solución A.

La desventaja que presenta es en la presencia de las bandas que generan la corriente debido a que si se daña la una o la otra puede aumentar los costos en su mantenimiento.

3.2.7 Evaluación de soluciones

Se realizó un análisis para determinar la mejor alternativa por medio de una evaluación de los criterios más importantes para el desarrollo y construcción del prototipo.

Para tomar la mejor decisión se ponderaron los dos criterios más importantes que son:

- Alternativas: Se debe poseer al menos 3 alternativas de diseño las cuáles deben tener características diferentes.
- Criterios: Se debe establecer los criterios con respecto a las alternativas que se van a evaluar y entre criterios.

3.2.7.1 *Método de criterios ponderados*

El método de criterios ponderados se basa en tablas las cuales permiten comparar cada criterio con los demás criterios y con las soluciones, en donde se deben asignar los siguientes valores según sea la importancia, este análisis nos permite obtener resultados globales y significativos para un mejor desarrollo de este. (Riba 2002).

1	Si el criterio de las filas es superior que el de las columnas.
0.5	Si el criterio de las filas es igual que el de las columnas
0	Si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas.

3.2.7.2 *Matriz de confrontaciones*

Se establecieron los criterios para los cuales se analizarán las soluciones y así obtener la más optima de acuerdo con la importancia de estos, dichos criterios son los siguientes y se analizan en la Tabla 7-3.

Costos: La construcción del prototipo debe ser asequible, teniendo un coste competitivo en el mercado con respecto a sus competencias y garantizando que este cumpla con su objetivo.

Funcionalidad: El prototipo debe cumplir con la función para la cual se va a construir siendo esta la más eficiente.

Diseño: Este debe cumplir con las características de geometría y forma para que el prototipo no tenga inconvenientes al momento de realizar su función.

Capacidad operativa: Se basa en las dimensiones y capacidad con las que trabajará el prototipo dependiendo una de otra según el propósito de recolección que deba cumplir.

Seguridad y medio ambiente: Se debe garantizar que el prototipo cumpla con las condiciones de no ser contaminante a los medios acuáticos lénticos y no implique peligros para el usuario al momento de ponerlo en funcionamiento.

Costos = Funcionalidad > Seguridad y Medio Ambiente > Capacidad operativa = Diseño

Tabla 7-3: Criterios de evaluación

Criterio	Costos	Funcionalidad	Diseño	Capacidad operativa	Seguridad y Medio ambiente	Sumatoria	Ponderación
Costos		0.5	1	1	1	4.5	30%
Funcionalidad	0.5		1	1	1	4.5	30%
Diseño	0	0		0.5	0	1.5	10%
Capacidad operativa	0	0	0.5		0	1.5	10%
Seguridad y medio ambiente	0	0	1	1		3	20%
						15	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.2.7.3 Evaluación de soluciones con respecto a cada criterio

Se procedió a evaluar cada una de las alternativas del prototipo recolector de desechos flotantes en aguas lénticas con cada uno de los criterios de valoración, los resultados se presentan en las siguientes tablas.

- **Módulo Mecánico**

Alternativa C > Alternativa B > Alternativa A

Tabla 8-3: Criterios de evaluación respecto al criterio costos

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		0	0	1	17%
Solución B	1		0	2	33%
Solución C	1	1		3	50%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 8-3 se analiza los criterios de evaluación de costos en donde la solución C y B obtuvieron el índice de coste más bajo principalmente por el tipo de energía que usan, ya que en la solución A este criterio es más elevado por la instalación de paneles solares.

Alternativa C > Alternativa A > Alternativa B

Tabla 9-3: Criterios de evaluación respecto al criterio funcionalidad

Funcionalidad	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		1	0	2	33%
Solución B	0		0	1	17%
Solución C	1	1		3	50%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 9-3 se analiza los criterios de evaluación respecto a la funcionalidad en la cual la solución C y A presentaron un mejor desenvolvimiento debido a que tienen bandas transportadoras para la recolección de los desechos y así ser mucho más eficientes, en cuanto la solución B es menos eficiente ya que los desechos se recolectan en una malla por medio la generación de un vórtice.

Alternativa A > Alternativa C > Alternativa B

Tabla 10-3: Criterios de evaluación respecto al criterio diseño

Diseño	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		1	1	3	50%
Solución B	0		0	1	17%
Solución C	0	1		2	33%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 10-3 se presenta el análisis respecto al diseño donde la solución A y C presentaron un mejor diseño ya que poseen un casco plano y multicasco lo que las hace más estables, el diseño para su almacenamiento de igual forma es más eficiente y presenta la característica de ser desmontable, la solución B al tener un casco redondo no le da completa estabilidad al prototipo.

Alternativa C > Alternativa A > Alternativa B

Tabla 11-3: Criterios de evaluación respecto al criterio capacidad operativa

Capacidad operativa	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		1	0	2	33%
Solución B	0		0	1	17%
Solución C	1	1		3	50%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 11-3 se presenta la solución C y A tuvo mayor capacidad operativa debido a que es más fácil la recolección de los desechos flotantes y el tiempo de servicio es mayor al usar energía eléctrica para su funcionamiento, así como también el uso de paneles solares, a diferencia de la solución B que la recolección es menos eficiente.

Alternativa A > Alternativa C > Alternativa B

Tabla 12-3: Criterios de evaluación respecto al criterio seguridad y medio ambiente

Seguridad y M. Ambiente	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		1	1	3	50%
Solución B	0		0	1	17%
Solución C	0	1		2	33%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 12-3 se ve que la solución A y C presentaron un mayor cuidado al medio ambiente en aguas lénticas por la utilización de energía limpia como son los paneles solares y energía eléctrica, la solución B es la más contaminante por la utilización de combustibles como la gasolina para su funcionamiento.

- *Módulo de Control*

Alternativa B > Alternativa A > Alternativa C

Tabla 13-3: Criterios de evaluación respecto al criterio costos

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		0	1	2	33%
Solución B	1		1	3	50%
Solución C	0	0		1	17%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

La Tabla 13-3 detalla que la solución B mostró el coste más bajo ya que es controlado por medio de un radio control y posee una cámara de 90 grados, se incrementa el costo de un prototipo automático que es la alternativa A, finalmente el más costoso es la solución C ya que al ser el control manual implica el factor humano al cual se le debe pagar sus horas de trabajo para vaya maniobrando manualmente el prototipo.

Alternativa A > Alternativa B > Alternativa C

Tabla 14-3: Criterios de evaluación respecto al criterio funcionalidad

Funcionalidad	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		1	1	3	50%
Solución B	0		1	2	33%
Solución C	0	0		1	17%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 14-3 se enfoca en el criterio funcionalidad donde la solución A y B fueron óptimas ya que al ser autónomo el prototipo se encarga de realizar su función automáticamente, con un radio control se le direcciona directamente el prototipo y al ser manual hay mucha diferencia en la precisión para la recolección.

Alternativa B > Alternativa A > Alternativa C

Tabla 15-3: Criterios de evaluación respecto al criterio diseño

Diseño	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		0	1	2	33%
Solución B	1		1	3	50%
Solución C	0	0		1	17%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 15-3 se muestra que la solución B y A presentaron un mejor diseño principalmente por sus componentes a diferencia de la solución C que es más ambigua.

Alternativa A > Alternativa B > Alternativa C

Tabla 16-3: Criterios de evaluación respecto al criterio capacidad operativa

Capacidad operativa	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		1	1	3	50%
Solución B	0		1	2	33%
Solución C	0	0		1	17%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 16-3 la solución A y B fueron óptimas en su capacidad operativa ya que presentan un mayor alcance para su funcionamiento, la solución C usa Wifi lo que dificulta su alcance ya que requiere también una conexión a internet.

Alternativa A = Alternativa B = Alternativa C

Tabla 17-3: Criterios de evaluación respecto al criterio seguridad y medio ambiente

Seguridad y M. Ambiente	Solución A	Solución B	Solución C	Sumatoria	Ponderación
Solución A		0.5	0.5	2	33%
Solución B	0.5		0.5	2	33%
Solución C	0.5	0.5		2	33%
				6	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 17-3 en el criterio de seguridad y medio ambiente se encontró que las tres soluciones presentaron seguridad en el control y eficiencia debido a que este criterio de control no presenta afecciones al medio ambiente.

3.2.7.4 Conclusión de las soluciones

Luego de haber realizado la evaluación de cada uno de los criterios con las soluciones, se presentó la tabla de conclusiones obtenidas por medio del método de criterios ponderados.

- **Módulo Mecánico**

Tabla 18-3: Criterios de evaluación respecto al criterio seguridad y medio ambiente

Conclusión	Costos	Funcionalidad	Diseño	Capacidad operativa	Seguridad y medio ambiente	Sumatoria	Prioridad
Solución A	0.050	0.1	0.05	0.03	0.10	0.333	2
Solución B	0.100	0.05	0.02	0.02	0.03	0.217	3
Solución C	0.150	0.15	0.03	0.05	0.07	0.450	1

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Finalmente, al realizar el análisis de cada criterio con su respectiva ponderación en la tabla 18-3 de la matriz de confrontaciones se puede observar que la solución óptima es la C, por lo que en el

diseño mecánico se tomará en cuenta esa solución. El prototipo recolector de desechos flotantes contará con un caso en V, con dos bandas recolectoras que generarán un corriente para a la recolección de los desechos, todos estos se almacenaran en una rejilla que será desmontable, la propulsión y maniobrabilidad será por medio de hélices y se utilizará una batería la cual se cargará por medio de energía eléctrica.

- **Módulo de Control**

Tabla 19-3: Criterios de evaluación respecto al criterio seguridad y medio ambiente.

Conclusión	Costos	Funcionalidad	Diseño	Capacidad operativa	Seguridad y medio ambiente	Sumatoria	Prioridad
Solución A	0.1000	0.1500	0.1000	0.0500	0.0667	0.4667	2
Solución B	0.1500	0.1000	0.1500	0.0333	0.0667	0.5000	1
Solución C	0.0500	0.0500	0.0500	0.0167	0.0667	0.2333	3

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la tabla 19-3 se realizó el mismo análisis por el criterio de ponderaciones para el módulo de control en donde se determinó que la solución B es la mejor, esta presenta un radio control para su desplazamiento, una cámara de 90 grados con un giro por servomotor para una visualización de 360 grados, la visión serpa por FPV, la interfaz será creada en LabVIEW y se presentará una comunicación por medio de Lora WAN.

3.3 Diseño de materialización de la alternativa seleccionada

Una vez seleccionada la mejor alternativa para el prototipo recolector de residuos flotantes en aguas lénticas, se procedió a realizar un modelo en SolidWorks que cumpla con las características analizadas en la casa de la calidad y matriz morfológica.

El sistema estructural se construyó en impresión 3D con filamentos de PLA y se dio un recubrimiento en fibra de vidrio para asegurar la hermeticidad y flotabilidad del prototipo. Los elementos motrices y de unión se construyeron en variados materiales cuya principal característica es la resistencia a la corrosión. En la Figura 27-3 se presenta de manera general los principales componentes del prototipo y en la Tabla 20-3 se detalla la denominación de estos.

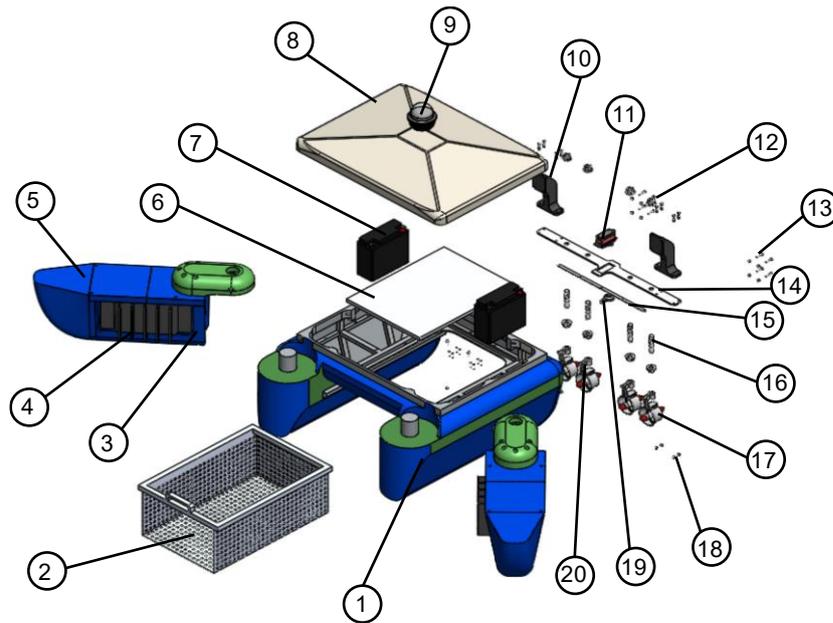


Figura 27-3: Elementos principales del prototipo recolector de residuos flotantes

Fuente: SolidWorks

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Tabla 20-3: Componentes del prototipo recolector de residuos

Elementos del prototipo			
1	Casco	11	Servomotor
2	Canastilla de recolección	12	Pernos de soporte izquierda
3	Eje	13	Pernos de los soportes derecha
4	Bandas transportadoras	14	Barra turbinas
5	Brazos	15	Barra dirección
6	Tapa de la canastilla	16	Pernos unión turbinas
7	Baterías	17	Turbinas
8	Tapa de casco	18	Tuercas para propulsores
9	Cámara	19	Acople servomotor
10	Soporte base motores	20	Soporte turbinas

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Los planos de detalle de cada uno de los elementos y del ensamble general se adjunta en los respectivos Anexos del documento.

3.4 Diseño mecánico de la alternativa seleccionada

En el presente capítulo se procede a realizar el diseño detalle en donde se diseñó y seleccionó los elementos que son parte del prototipo recolector de desechos en aguas lénticas. Además, se realizará el modelo final en SolidWorks y la validación de los componentes será en el software ANSYS.

3.4.1 *Dimensionamiento*

El dimensionamiento del prototipo recolector de desechos flotantes para aguas lénticas es el principal paso para el diseño de detalle ya que de estas dependerán las demás características de diseño y selección.

3.4.1.1 *Dimensionamiento del casco*

El prototipo presenta un multicasco y esta es la estructura en la que se montarán los componentes eléctricos y mecánicos que servirán para la recolección de los residuos flotantes, también dará la respectiva flotabilidad y estabilidad para que este se puede desplazar con seguridad. Para determinar estas dimensiones, se tomó en cuenta en el análisis de competencias realizado en la matriz QFD.

$$\text{Ancho} = 1600 \text{ mm}$$

$$\text{Alto} = 660 \text{ mm}$$

$$\text{Largo} = 1200 \text{ mm}$$

Siendo el volumen del casco el siguiente:

$$\text{Volumen} = \text{Ancho} * \text{Alto} * \text{Largo}$$

$$\text{Volumen} = 1.27 \text{ m}^3$$

3.4.1.2 *Dimensionamiento de brazos*

El prototipo recolector de plásticos presenta dos brazos laterales los cuales serán muy útiles para generar una corriente de agua para atraer los residuos de una manera más rápida y fácil, es por esto por lo que tendrá las siguientes dimensiones, estas son dadas para generar flotabilidad y estabilidad.

$$\text{Ancho} = 412 \text{ mm}$$

$$\text{Alto} = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Largo} = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Volumen} = 0.25 \text{ m}^3$$

Cada uno de los brazos tendrá un volumen de 0.25 m^3 y se podrá controlar su apertura a un ángulo para que realice su función de una manera más eficiente.

3.4.1.3 Dimensionamiento de la canastilla

La canastilla es el lugar en donde se almacenarán los residuos flotantes, con estas dimensiones se puede determinar la carga máxima que puede admitir en la recolección residuos.

$$\text{Ancho} = 680 \text{ mm}$$

$$\text{Alto} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Largo} = 1100 \text{ mm}$$

Se determinó con estos datos el volumen que puede tener el contenedor y su valor es:

$$\text{Volumen} = \text{Ancho} * \text{Alto} * \text{Largo}$$

$$\text{Volumen} = 0.300 \text{ m}^3$$

En el estudio bibliográfico se determinó la densidad de los residuos que se encuentran flotando en el agua considerando que estos tienen un valor menor a 1000 kg/m^3 .

$$\text{Densidad de residuos} = 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Se calculó cuál es la masa media que podrá almacenar el contenedor con ayuda de la ecuación de la densidad.

$$\delta = \frac{m}{V}$$

$$m = \delta * V$$

$$m = \left(500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * (0.3 \text{ m}^3)$$

$$m = 150 \text{ kg}$$

Con esto determinó que el contenedor tiene una capacidad de almacenar al menos 150 kg por cada vez que el prototipo vaya a recoger los desechos.

3.4.2 Selección de materiales

En la selección de materiales se tomaron en cuenta la función y las características que cumplirá cada parte del prototipo.

Para la selección correcta del material se analizaron los requerimientos de la matriz QFD, con la ayuda del software CES EduPack, de esta manera se determinó el material óptimo según las condiciones dadas.

3.4.2.1 Material del casco

Para la selección del material que formará el casco y los brazos del prototipo se tomó en cuenta las diferentes características como la resistencia del material ya que será el lugar donde se soporten las partes del prototipo incluyendo la canastilla de almacenamiento, también debe ser resistente al agua, a la flexión y la compresión debido al movimiento de las aguas lénticas.

Con la ayuda del programa CES EduPack se pudo filtrar los materiales de acuerdo con las características requeridas y determinar el índice del material de cada elemento.

En la Tabla 21-3 se encuentra los requerimientos necesarios para la selección del material del casco, para encontrar el material más adecuado se tomó en cuenta el índice para minimizar la masa, que cuente con resistencia, ayude en la flotabilidad y el costo sea bajo.

Tabla 21-3: Factores para la selección del material del casco

Función	Estructura resistente y liviana Característica de flotabilidad
Restricción	Panel a flexión Resistencia al agua Menor costo
Objetivo	Minimizar masa
Índice del material	$\frac{E^{1/3}}{\rho}$

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Con estas restricciones se obtuvo el diagrama de la Densidad del material vs Módulo de flexión, ya que el material está sometido a fuerzas de flexión y debe poseer flotabilidad.

El casco es la estructura externa del prototipo la cual estará en contacto con el agua por lo que el material deberá ser resistente a la corrosión y a las fuerzas externas que se presenten. Generalmente el material para cascos usados en embarcaciones es de madera, fibra de vidrio, fibra cemento, acero y aluminio, es por esta razón que se han tomado estos valores de referencia para escoger el material óptimo.

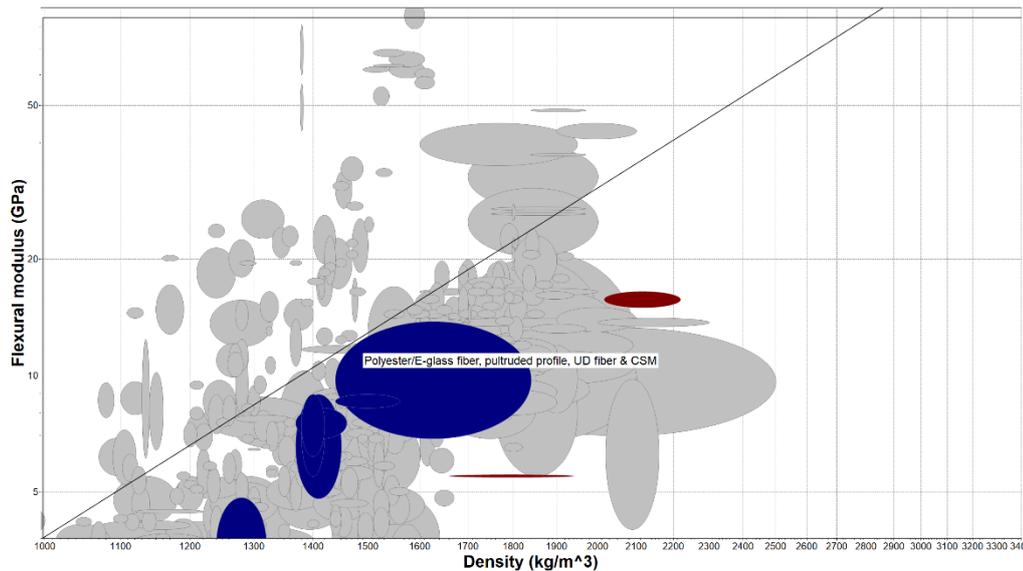


Gráfico 1-3: Diagrama Densidad vs Módulo de Flexión - Casco

Fuente: CES EduPack. 2021

En el Gráfico 1-3 se presentan los materiales que más cumplen con las características deseadas, en este caso son los materiales compuestos como es la fibra de vidrio. Estos materiales son muy buenos para aplicaciones marinas por su rigidez, resistencia y flotabilidad. Las características de este material se presentan en la Tabla 22-3.

Tabla 22-3: Propiedades Fibra de Vidrio

Nombre	Fibra de Vidrio
Índice	
Densidad (kg/m^3)	2020 - 2220
Módulo de Young (GPa)	15
Módulo de flexión (GPa)	15
Límite elástico (MPa)	50 - 55
Resistencia a la tracción (MPa)	50 - 55

Fuente: Ces EduPack. 2021

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

La fibra de vidrio es un material muy usado en la actualidad especialmente para los cascos de los barcos, botes, componentes de automóviles y barcos, tarimas para rampas, torres de enfriamiento y plantas químicas. Tiene ventajas sobre otros materiales como el acero ya que es más resistente a la corrosión, por su alta resistencia a la corrosión, es un material mucho más ligero es decir tiene una menor densidad, siendo estas características las que garantizan que este es un material óptimo para la fabricación del casco y brazos del prototipo recolector de residuos flotantes.

3.4.2.2 Material de canastilla

La canastilla es el lugar donde se van a almacenar los residuos por lo que se debe tomar en cuenta diferentes factores como la resistencia, el peso y una resistencia a la corrosión debido a que estará en contacto directo tanto con el agua como con los residuos.

Tabla 23-3: Factores para la selección del material de la canastilla

Función	Almacenar los residuos
Restricción	Panel a flexión Resistencia al agua Menor Costo
Objetivo	Minimizar masa
Índice del material	$\frac{E^{1/3}}{\rho}$

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Para encontrar el material que cuente con una buena resistencia a la flexión y con una menor masa se debe maximizar el índice y limitar las características del material de acuerdo con las especificaciones descritas en la Tabla 23-3 para cumplir de una manera eficiente con la función. Al tener el índice del material y al saber que se requiere minimizar la masa, se traza una pendiente igual a 3 donde los materiales que se están en la parte superior de la línea son los resultantes, de acuerdo con las condiciones requeridas, en el Gráfico 2-3 se presenta el diagrama de la Densidad vs el Módulo de flexión con los materiales que más se ajustan a estas condiciones.

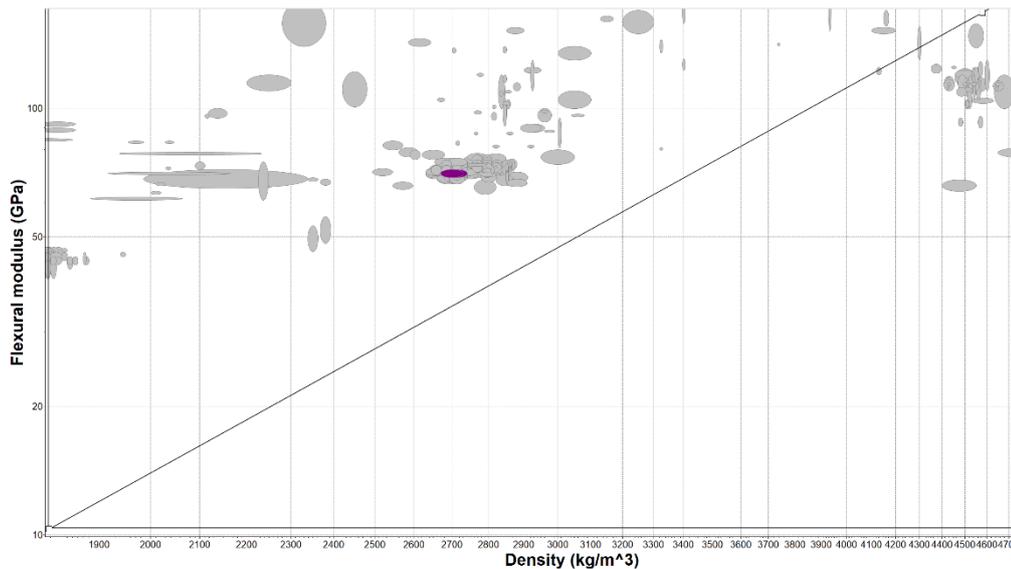


Gráfico 2-3: Diagrama Densidad vs Módulo de Flexión – Material de la canastilla

Fuente: CES EduPack. 2021

Para la correcta selección del material se tomó en cuenta la resistencia a la corrosión ya que trabajará en contacto con el agua, también será resistente a la flexión y compresión por el trabajo que realizará y que cuente con un precio asequible para la construcción; encontrando de esta manera que el material adecuado es el aluminio comercial puro, en la siguiente Tabla 24-3 se presentan las principales propiedades del material.

Tabla 24-3: Propiedades Aluminio comercial

Nombre	Aluminio comercial, 1200, O
Índice	
Densidad (kg/m^3)	2670– 2730
Módulo de Young (GPa)	69 – 72
Módulo de flexión (GPa)	38 – 42
Límite elástico (MPa)	38 – 42
Resistencia a la tracción (MPa)	86 – 95

Fuente: Ces EduPack. 2021

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

El aluminio es un material muy útil debido a que es resistente a la corrosión, tiene una baja densidad comparado con el acero y presenta muchas utilidades en la construcción, trabajo en chapa, componente marino, almacenadores de alimentos, contenedores, cerca etc. Presenta otras ventajas como su facilidad para mecanizar, el precio es más asequible que otros materiales y además se puede realizar tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades.

3.4.3 *Diseño del sistema de recolección*

El prototipo recolector de desechos flotantes está constituido por dos brazos laterales los cuales constan de una banda transportadora colocada de forma vertical con cascos verticales los cuales son muy útiles para la generación de la corriente en el agua.

Se requiere la velocidad de recolección que va a tener la banda transportadora es por esto por lo que se tiene la siguiente velocidad lineal.

$$v_{recolección} = 0.75 \text{ m/s}$$

Se debe saber el volumen de agua que se requiere mover para determinar las características y condiciones del sistema recolector teniendo así los siguientes datos.

$$\text{Ancho} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Alto} &= 300 \text{ mm} \\ \text{Largo} &= 800 \text{ mm} \\ \text{Volumen} &= 0.024 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

De esta manera se determina la cantidad de masa de agua a mover, con la ecuación de la densidad teniendo en cuenta que la densidad del agua a 4°C es de 1000 kg/m^3 , las propiedades del agua se pueden observar en el Anexo 2.

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{m}{V} \\ m &= \delta * V \\ m &= \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * (0.048 \text{ m}^3) \\ m &= 12 \text{ kg} \end{aligned}$$

Como datos de entrada para la selección de las bandas del sistema recolector se debe tener un caudal el cuál se determina por la velocidad de recolección multiplicada por el área transversal, como se puede ver a continuación:

$$\begin{aligned} Q &= v * A \\ Q &= 0.75 \text{ m/s} * 0.100 \text{ m} * 0.300 \text{ m} \\ Q &= 0.023 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Teniendo de esta manera un caudal generado de $0.023 \text{ m}^3/\text{s}$, para la recolección de los residuos flotantes.

3.4.3.1 *Cálculo de la potencia de los motores*

Se debe determinar la potencia requerida para que las bandas del sistema recolector se muevan y generen una corriente de agua, por lo que se calcula la fuerza ejercida en el sistema por medio de un diagrama de cuerpo libre, el cual se puede ver en la Figura 28-3.

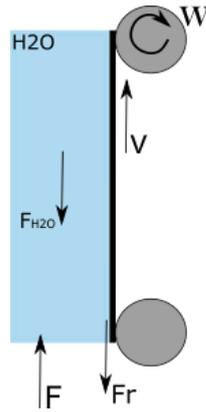


Figura 28-3: Vista superior de las fuerzas actuantes en la banda
 Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

$$F = F_{agua} + Fr$$

Determinamos el peso del agua multiplicando la masa de agua que se desea mover por el valor de la gravedad.

$$F_{agua} = masa_{agua} * g$$

$$F_{agua} = 12 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{agua} = 117.720 \text{ N}$$

Se tiene que el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la velocidad de deformación con respecto a la película de fluido a mover multiplicado por la viscosidad absoluta del agua, obteniendo este valor del Anexo C, de la tabla de las propiedades del agua.

$$\mathcal{T} = \mu \frac{dv}{dy}$$

De igual manera se tiene que la fuerza cortante o de cizallamiento es la fuerza ejercida sobre un área, para el caso de la selección de la banda se trabajará con el valor de la fuerza de rozamiento.

$$\mathcal{T} = \frac{Fr}{A}$$

Para determinar la fuerza de rozamiento que se ejerce sobre las paredes de la banda transportadora se iguala las ecuaciones del esfuerzo cortante y se reemplaza los datos.

$$\begin{aligned} \mathcal{T} &= \mathcal{T} \\ \mu \frac{dv}{dy} &= \frac{Fr}{A} \\ Fr &= A * \mu * \frac{v}{y} \\ Fr &= A * \mu * \frac{v}{y} \\ Fr &= (0.3m) * (0.8m) * \left(0.001569 \frac{kg}{m * s}\right) * \left(\frac{0.75 m/s}{0.100}\right) \\ Fr &= 0.0028242 N \end{aligned}$$

Una vez obtenidos estos datos se reemplaza en la ecuación para determinar la fuerza y se tiene:

$$\begin{aligned} F &= 117.720 N + 0.002824 N \\ F &= 117.723 N \end{aligned}$$

Se debe determinar la potencia requerida para vencer una fuerza de 117.723 N.

Para calcular la potencia se tiene que es la fuerza por la velocidad de recolección expresada con la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} P &= F * v_{recolección} \\ P &= 117.723 N * 0.75 m/s \\ P &= 90 W = 0.09 kW \\ P &= 0.09 kW * \frac{1Hp}{0.7457} \\ P &= 0.12 Hp \end{aligned}$$

Para vencer la fuerza de 235.441 N se requiere seleccionar un motor de 0.12 Hp con esto se puede encontrar la banda transportadora que se instalará en cada brazo. Las características del motor seleccionado se pueden ver en la Tabla 25-3.

Tabla 25-3: Características del motor del sistema de recolección

Motor del sistema de recolección	
Imagen	Características
	<p>Modelo: DCAGU100-24-28S</p> <p>Marca: LECTSTYLE</p> <p>Código de HS: 855013100</p> <p>Potencia: 100w</p> <p>Relación de giro: 180:1</p> <p>Torque: 19.60 N.m</p> <p>Modo de inicio: Arranque de frecuencia variable.</p> <p>Voltaje: 24D.C, 220 V AC</p> <p>Velocidad de Salida: 16 rpm</p> <p>Diámetro del motor: 80 mm</p> <p>Especificación: ISO, CE</p> <p>Origen: China</p>

Fuente: HANGZHOU LECTSTYLE TRADE Co., Ltd

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.4.3.2 Selección de la banda transportadora

En Figura 29-3 se muestra la presión de agua que se ejerce sobre la banda transportadora y se determinó la presión a la que está sometida.

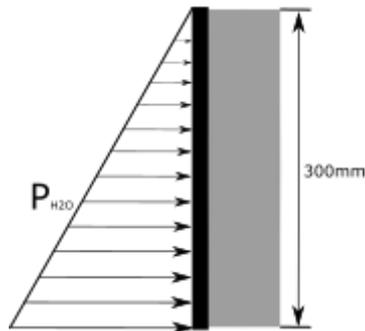


Figura 29-3: Vista lateral – Distribución de la presión en la banda

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Con la ecuación de la presión se calculó su valor, para determinar el valor de la carga distribuida y finalmente el cálculo de la fuerza puntual ejercida sobre la banda.

$$P = \rho * g * h$$

$$P = 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.3m$$

$$P = 2943 Pa$$

Se determinó el valor de la carga distribuida multiplicando el valor de la presión por el largo de la banda transportadora.

$$F = 2943 \frac{N}{m^2} * 0.8 m$$

$$F = 2354.4 \frac{N}{m}$$

Al tener el valor de una carga distribuida variada triangular se calculó el valor de la carga puntal ejercida en la banda.

$$F = \frac{b * h}{2}$$

$$F = \frac{2354.4 \frac{N}{m} * 0.300m}{2}$$

$$F = 353.16 N$$

Para la selección de la banda transportadora se necesita calcular el valor de la masa de agua equivalente y la velocidad de la banda.

$$m = \frac{F}{g}$$

$$m = \frac{353.16 N}{9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$m = 36 kg$$

Utilizamos una velocidad de $0.75 \frac{m}{s}$ y transformando a metros por minuto tenemos una velocidad de $45 \frac{m}{min}$.

Con los datos especificados determinamos en el catálogo que se necesita una banda 3200 SERIES cumpliendo con las características dadas en la tabla 26-3.

Tabla 26-3: Características de la banda

Bandas de caucho o lona	
Imagen	Características
	<p>Origen: USA</p> <p>Dimensiones: A la medida</p> <p>Espesor: Desde 6.5 mm; 10mm; 12.5mm</p> <p>Número de lonas: 2; 3; 4</p> <p>Dureza: EP250; EP450; EP650</p> <p>Resistencia a la carga: 250lbs; 350lbs; 650lbs</p> <p>Resistencia a la ruptura: 2500 lb; 3500 lbs; 6500 lbs.</p> <p>Resistencia: A la abrasión; aceites, al calor.</p> <p>Tipo caucho: SBR/ NBR/ HR</p> <p>Forma de superficie superior: lisa/ nervada tipo V</p> <p>Unión: (Grapas)/ Vulcanizada – Sin fin (Al frío o al calor)</p> <p>Tipo de trabajo: Pesado – Simi-pesado</p>

Fuente: Proindserv Cia. Ltda

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.4.3.3 *Diseño del eje*

Para la transmisión de la potencia en el diseño del eje se usó el criterio del ASME B106.1 M, en donde se determinó el diámetro con un factor de seguridad adecuado y comprobando que el eje tenga una buena rigidez.

El material para el diseño de los ejes es de acero inoxidable, ya que presenta una buena resistencia a la corrosión ya que se puede trabajar en medios marino, sus propiedades mecánicas se presentan en la Tabla 27-3.

Tabla 27-3: Propiedades del Acero Inoxidable

Acero Inoxidable AISI 316	
S_y	205 MPa
S_{ut}	515 MPa

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

El valor de las revoluciones y de la potencia transmitida fueron seleccionadas de las características del motor teniendo los siguientes valores.

$$n = 16 \text{ rpm} = 1.6755 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$P = 100 \text{ W}$$

Asumimos un diámetro de 35 mm y verificamos si cumple con el factor de seguridad mayor a 2.

- **Cálculo de torque**

$$T = \frac{100 \text{ W}}{1.6755 \text{ rad/seg}} = 59.684 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T = 59683.078 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- **Cálculo de fuerzas**

Las fuerzas aplicadas en la polea se muestran en la Figura 30-3.

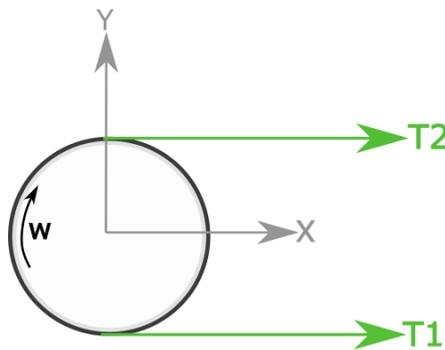


Figura 30-3: Fuerzas aplicadas en la polea
Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

$$T = (T1 - T2) * r$$

$$59683.078 = 30 * (T1 - T2)$$

$$\frac{T1}{T2} = cte = e^{\mu\theta}$$

Donde:

- μ : Coeficiente de fricción entre la banda y la polea.

$$\mu = 0.2$$

- θ : Ángulo de contacto (rad).

$$\theta = 180^\circ - 2\alpha$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2x}\right)$$

$$\theta = 180^\circ = 3.1416$$

$$\frac{T1}{T2} = e^{0.2 * 3.1416}$$

$$T1 = 1.8745 T2$$

$$T1 = 4265.678 N$$

$$T2 = 2276.242 N$$

$$Tt = 6541.92 N$$

- Diagrama de cuerpo libre

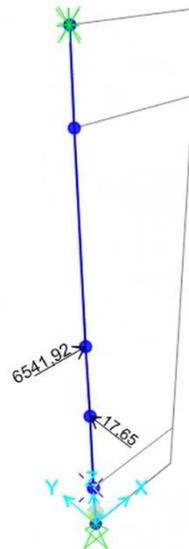


Figura 31-3: Diagrama de cuerpo libre del eje

Fuente: SAP 2000

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

$$LT = 400 mm$$

$$AB = 133.33 mm$$

$$BC = 66.67 mm$$

$$CD = 200 mm$$

- **Reacciones**

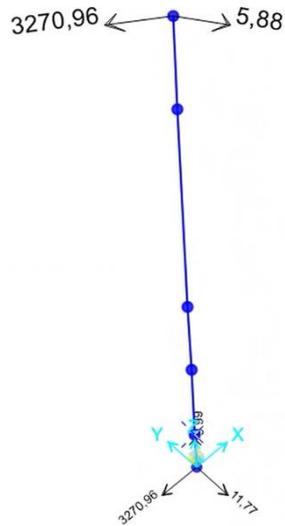


Figura 32-3: Diagrama de cuerpo libre del eje
Fuente: SAP 2000
Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

- **Plano XZ**

$$Ax = -3270.96 \text{ N} \qquad Dx = -3270.96 \text{ N}$$

Plano YZ

$$Ay = -11.77 \text{ N} \qquad Dy = -5.88 \text{ N}$$

- **Diagramas de momento flector**

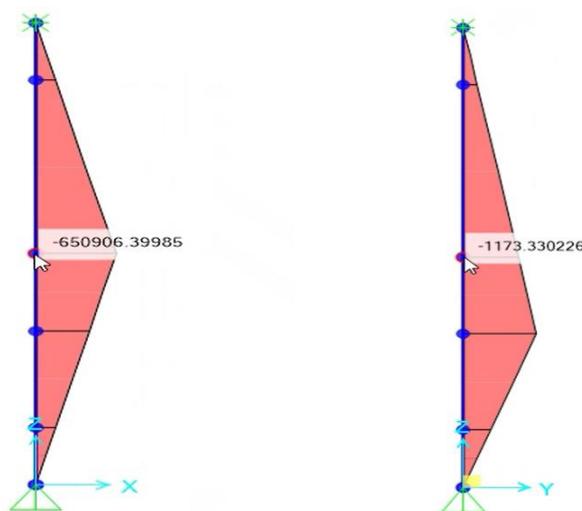


Figura 33-3: Diagrama de momento flector plano x-z y plano y-z
Fuente: SAP 2000
Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

El punto crítico es C, por lo que se debe sacar un Momento flector resultante de los dos planos.

$$M_f = \sqrt{M_{f_{x-z}}^2 + M_{f_{y-z}}^2}$$

$$M_f = \sqrt{(650906.39985)^2 + (1173.33023)^2} = 650907.4574 \text{ N.mm}$$

- **Verificación del factor de seguridad según el ASME B106.1 M**

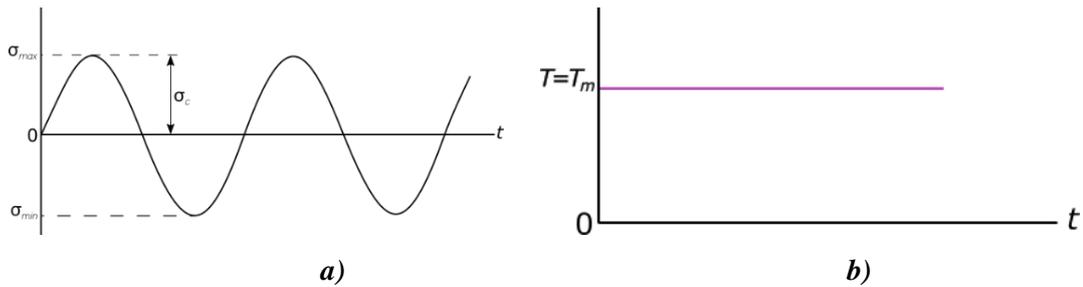


Figura 34-3: a) Diagrama de flexión b) Diagrama de torsión

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Tabla 28-3: Valores de Momentos flectores y Momentos torsores

$M_a [N.mm]$	650907.4574
$M_m [N.mm]$	0
$T_a [N.mm]$	0
$T_m [N.mm]$	59683.078

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

- **Cálculo de concentrador de esfuerzos**

En el anexo D se encuentra los gráficos para encontrar los valores del concentrador de esfuerzos a flexión y torsión pura de acuerdo con las características geométricas dadas.

$$r = 2.5 \text{ mm} \quad q_f = 0.7 \quad q_{ts} = 1 \quad d = 25$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r/d = 0.1 \\ D/d = 2.6 \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} k_t = 1.75 \\ k_{ts} = 1.55 \end{array} \right\}$$

- Flexión

$$k_f = 1 + q_f(k_t - 1)$$

$$k_{ff} = 1 + 0.7(1.75 - 1)$$

$$\mathbf{k_{ff} = 1.54}$$

- Torsión

$$k_f = 1 + q_s(k_{ts} - 1)$$

$$k_s = 1 + 1(1.55 - 1)$$

$$\mathbf{k_{fs} = 1.55}$$

- **Cálculo de límite de fatiga**

$$k = k_a * k_b * k_c * k_d * k_g$$

- k_a : Factor de modificación de la condición superficial. (*Maquinado o laminado en frio*)

$$k_a = aS_{ut}^b$$

$$k_a = 0.862$$

- k_b : Factor de modificación del tamaño.

$$k_b = 1.24 d^{-0.107}$$

$$k_b = 1.24 (60)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.794$$

- k_c : Factor de confiabilidad. (99.9%)

$$k_c = 0.753$$

- k_d : Factor de modificación de la temperatura. (15°C)

$$k_d = 1$$

- k_g : Factor de modificación de efectos varios.

$$k_g = 0.9$$

$$k = (0.862)(0.794)(0.753)(1)(0.9)$$

$$\mathbf{k = 0.4639}$$

$$S_e' = 0.5 S_{ut}$$

$$S_e' = 0.5 (515 \text{ MPa}) = 257.5 \text{ MPa}$$

$$S_e = k.S_e'$$

$$S_e = 119.445 \text{ Mpa}$$

Se reemplaza estos valores en la ecuación de la ASME B106 M, para validar su resultado y tener un factor de seguridad aceptable y real.

$$\frac{1}{\eta} = \frac{16}{\pi \cdot d^3} \left[4 \left(\frac{k_f \cdot M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} \cdot T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{16}{\pi (35)^3} \left[4 \left(\frac{1.49(101254.7974)}{99.3522} \right)^2 + 3 \left(\frac{1.274(127.16 \times 10^3)}{205} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$\eta = 2.51$

3.4.4 Flotabilidad

Para los cálculos de flotabilidad son necesarias las dimensiones principales que componen el casco del equipo, estas se describen en la Tabla 29-3.

Tabla 29-3: Dimensiones generales del prototipo

Dimensiones generales del prototipo		
Esloza total	1540	mm
Esloza entre perpendiculares	1200	mm
Manga	1600	mm
Puntual	660	mm
Capacidad del contenedor	0,30	m3

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Luego mediante el principio de Arquímedes se calculó el volumen desplazado y la línea de flotación que tendría el equipo para tres condiciones de carga distintas.

3.4.4.1 Condición 1: Casco sin carga añadida

$$F_{empuje} = \rho * g * V$$

Donde:

ρ es la densidad del fluido.

g es la aceleración de la gravedad.

V es el volumen de la masa de fluido desplazada.

Por lo tanto, para calcular la línea de flotación se debe conocer la fuerza de empuje que en este caso sería el peso del equipo.

$$F_{empuje} = \text{Peso} = m * g$$

Siendo m la masa del equipo y obteniéndose del software SolidWorks, como se puede ver en la Figura 35-3.

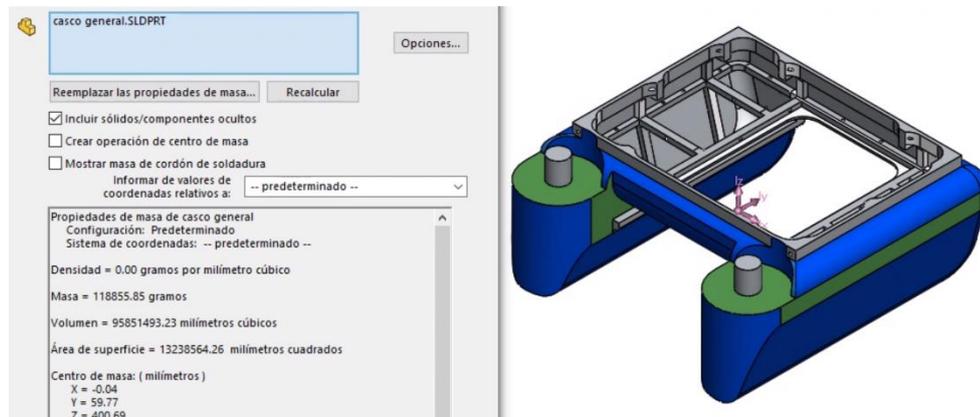


Figura 35-3: Propiedades del casco del prototipo

Fuente: SolidWorks

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

$$F_{empuje} = Peso = 118.86 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{empuje} = Peso = 1166.0166 \text{ N}$$

El volumen desplazado está dado por

$$V = \frac{F_{empuje}}{\rho * g}$$

$$V = \frac{1166.0166 \text{ N}}{1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$V = 0.119 \text{ m}^3$$

Por facilidad de cálculos el casco se asemeja a un paralelepípedo por lo tanto tenemos que:

$$V = \text{Eslora total} * \text{manga total} * h$$

$$h = \frac{V}{\text{Eslora total} * \text{manga total}}$$

$$h = \frac{0.119 \text{ m}^3}{1.54 \text{ m} * 1.6 \text{ m}} * 1000$$

$$h = 48.239 \text{ mm}$$

3.4.4.2 Condición 2: Casco con brazos recolectores

$$F_{empuje} = \rho * g * V$$

Donde:

ρ : es la densidad del fluido.

g : es la aceleración de la gravedad.

V : es el volumen de la masa de fluido desplazada.

Por lo tanto, para calcular la línea de flotación se debe conocer la fuerza de empuje que en este caso sería el peso del equipo.

$$F_{empuje} = Peso = m * g$$

Siendo m la masa del equipo y obteniéndose del software SolidWorks, como se muestra en la Figura 36-3.

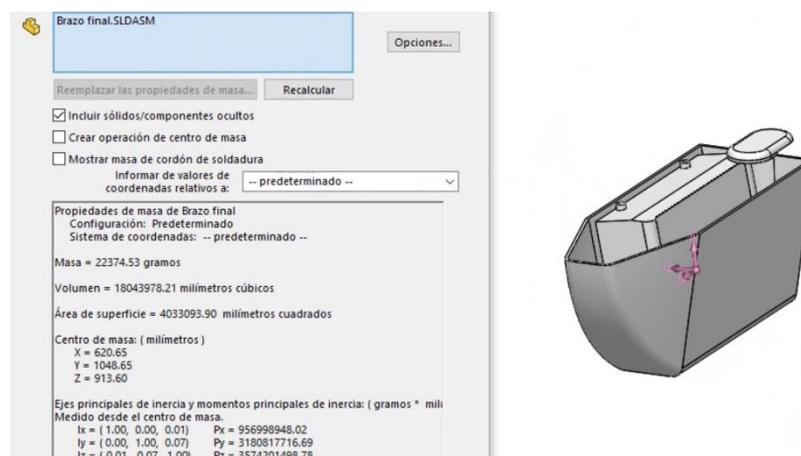


Figura 36-3: Propiedades los brazos del prototipo

Fuente: SolidWorks

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

$$F_{empuje} = Peso = (2 * 22.377)kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{empuje} = Peso = 2371.605 N$$

El volumen desplazado está dado por

$$V = \frac{F_{empuje}}{\rho * g}$$

$$V = \frac{2371.605 N}{1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$V = 0.242 \text{ m}^3$$

Por facilidad de cálculos el casco se asemeja a un paralelepípedo por lo tanto tenemos que:

$$V = \text{Eslora total} * \text{manga total} * h$$

$$h = \frac{V}{\text{Eslora total} * \text{manga total}}$$

$$h = \frac{0.245 \text{ m}^3}{1.54 \text{ m} * 1.6 \text{ m}} * 1000$$

$$\mathbf{h = 71.951 \text{ mm}}$$

3.4.4.3 Condición 3: Casco con carga añadida

$$F_{\text{empuje}} = \partial * g * V$$

Donde

∂ : es la densidad del fluido.

g : es la aceleración de la gravedad.

V : es el volumen de la masa de fluido desplazada.

Por lo tanto, para calcular la línea de flotación se debe conocer la fuerza de empuje que ente caso sería el peso del equipo.

$$F_{\text{empuje}} = \text{Peso} = m * g$$

Siendo m la masa del equipo y obteniéndose del software SolidWorks.

$$F_{\text{empuje}} = \text{Peso} = 500 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{empuje}} = \text{Peso} = 4905 \text{ N}$$

El volumen desplazado está dado por

$$V = \frac{F_{\text{empuje}}}{\partial * g}$$

$$V = \frac{4905 \text{ N}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$V = 0.5 \text{ m}^3$$

Por facilidad de cálculos el casco se asemeja a un paralelepípedo por lo tanto tenemos que:

$$V = \text{Eslora total} * \text{manga total} * h$$

$$h = \frac{V}{\text{Eslora total} * \text{manga total}}$$

$$h = \frac{0.5 \text{ m}^3}{1.54 \text{ m} * 1.6 \text{ m}} * 1000$$

$$h = 148.810 \text{ mm}$$

3.4.5 Propulsión

Para el cálculo de la propulsión necesaria para mover el equipo se siguió el procedimiento indicado.

Primero es necesario realizar una estimación de la velocidad, que para embarcaciones de desplazamiento por su naturaleza debe ser baja, además es necesario conocer datos básicos del equipo enlistados en la Tabla 30-30

Tabla 30-3: Características para el cálculo de la propulsión

Velocidad de navegación	2.75	Nudos
Velocidad de navegación	5.09	km/h
Masa total por mover	391.5	Kg
Masa corregida	684.87	kg
Masa corregida	1506.7	lb
Eslora de flotación máxima	2100	mm
Eslora de flotación máxima	6.888	ft

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Luego se procede al cálculo de la relación de velocidad eslora R.

$$R = \frac{V}{\sqrt{L}}$$

Donde:

R: es la relación de velocidad eslora.

V: es la velocidad estimada del equipo en nudos.

L: es la eslora máxima de flotación en pies.

$$R = \frac{2.75 \text{ Nudos}}{\sqrt{6.888 \text{ ft}}}$$

$$R = 1.05$$

Con este valor calculado, nos dirigimos al Gráfico 3-3 para conocer la potencia necesaria por libras del equipo.

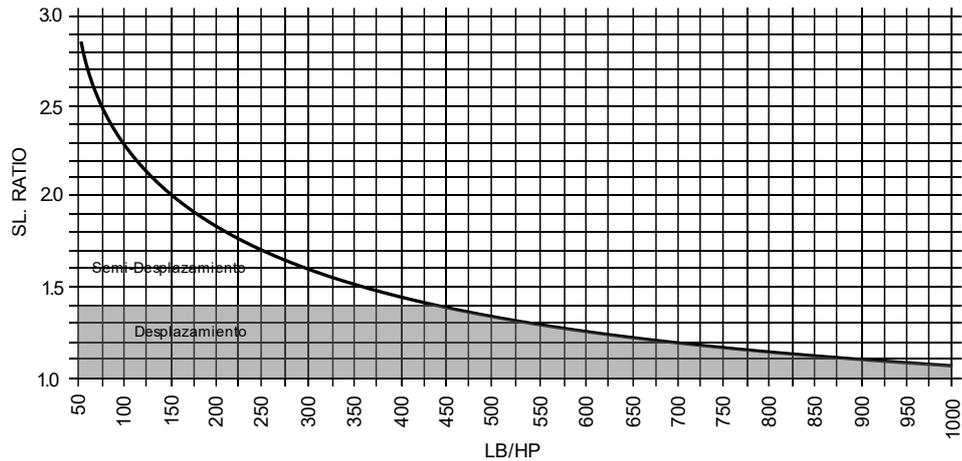


Gráfico 3-3: Velocidad de Desplazamiento – Incluyendo Semidesplazamiento

Fuente: Gerr, 2001

Realizado por: Tapia C, Merino L, 2022

De donde se puede observar que se tiene un valor de 1000 Lb/HP

Por lo tanto, la potencia estimada está dada por:

$$P = \frac{M}{1000 \text{ Lb/HP}}$$

Donde:

P : es la potencia para mover el equipo.

M : es la masa del equipo en libras.

$$P = \frac{1506.7 \text{ lb}}{1000 \text{ Lb/HP}}$$

$$P = 1.51 \text{ Hp}$$

Al cual se le aplicó un factor de corrección de potencia de 1.15, siendo el valor de la potencia de 1.77 Hp.

Por lo que se seleccionó una potencia de 2 Hp ya normalizada.

3.4.5.1 Cálculo del paso de la turbina

Para este cálculo es necesario conocer los rpm de salida del motor a usar y la potencia al eje SHP, de esta forma para cuatro propulsores de 0.5 Hp se tiene:

$$SHP = P * 0.8$$

$$SHP = 0.4Hp$$

Cálculo de la velocidad real alcanzada.

$$V = \frac{10.665 * \sqrt{L}}{\sqrt[3]{\frac{M}{Hp}}}$$

$$V = 1.8 \text{ nudos} = 182.23 \text{ ft/min}$$

Cálculo del paso sin deslizamiento.

$$p = \frac{V_{real}}{rpm}$$

$$p = \frac{182.23 \text{ ft/min}}{1575 \text{ rpm}}$$

$$p = 0.116 \text{ ft}$$

Cálculo del deslizamiento.

$$d = \frac{1.4}{V_{real}^{0.57}}$$

$$d = 1.002 \%$$

De tablas obtenemos el deslizamiento dado de: 0.45% y haciendo un promedio se obtiene un deslizamiento de 0.726%

Por lo tanto, el paso real está dado por:

$$pd = p * (1 + \text{deslizamiento})$$

$$pd = 0.116 \text{ ft} * (1 + 0.726)$$

$$pd = 0.200 \text{ ft}$$

3.4.5.2 Selección del diámetro de la turbina

Con la potencia de SHP y los rpm corregidos del motor podemos calcular el diámetro para la hélice de 3 palas.

$$D = \frac{632.7 * SHP^{0.2}}{rpm^{0.6}}$$

$$D = \frac{632.7 * 0.49^{0.2}}{1715^{0.6}}$$

$$D = 6.29 \text{ in}$$

3.4.6 Selección de pernos de los soportes

Los propulsores están sujetos a dos soportes los cual esta unidos a los dos lados del casco del prototipo por medio de 4 pernos en cada soporte.

Para determina el diámetro de los pernos se identificó las fuerzas a las que está sometida y las posiciones de donde están ubicadas, las cuales se muestran en la Figura 37-3.

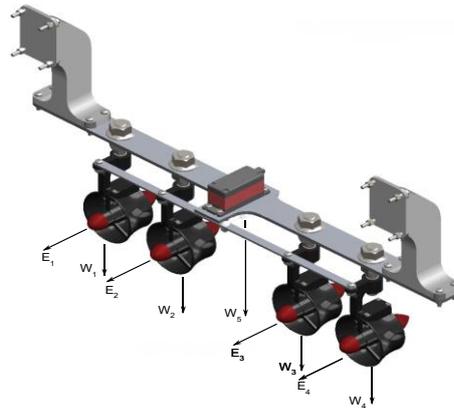


Figura 37-3: Distribución de fuerzas para los pernos

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

$$n_{\text{pernos}} = 4$$

- **Fuerzas**

$$F_A = (-2.747j + 27.17k) \text{ N}$$

$$F_B = (-2.747j + 27.17k) \text{ N}$$

$$F_C = (-24.530j) \text{ N}$$

- **Posiciones**

$$r_A = (-173.320i - 494.460j + 89.73k) \text{ mm}$$

$$r_B = (-349.910i - 494.460j + 89.73k) \text{ mm}$$

$$r_C = (-543.060i - 340.200j + 89.73k) \text{ mm}$$

- **Clase de perno**

En la Tabla 31-3 se puede observar las propiedades del acero de bajo o medio carbono para pernos M5 – M36.

Tabla 31-3: Propiedades del acero de bajo o medio carbono

S_y	240 MPa
S_{ut}	400MPa
S_p	225 MPa

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Las cargas se deben transportar al punto de análisis de los pernos es por esto por lo que estas se desplazaron como carga y un momento.

- **Fuerza Total**

$$F_T = (-30.024j + 54.34k)N$$

- **Momento total**

$$M_A = r_A F_A = \begin{bmatrix} i & j & k \\ -173.32 & -494.46 & 89.73 \\ 0 & -2.747 & 27.17 \end{bmatrix}$$

$$M_A = (-13188.008i + 4709.10j + 476.075k) Nmm$$

$$M_B = r_B F_B = \begin{bmatrix} i & j & k \\ -349.91 & -494.46 & 89.73 \\ 0 & -2.747 & 27.17 \end{bmatrix}$$

$$M_B = (-13188.008i + 9507.05j + 961.133k) Nmm$$

$$M_C = r_C F_C = \begin{bmatrix} i & j & k \\ -543.06 & -340.2 & 89.73 \\ 0 & -24.53 & 0 \end{bmatrix}$$

$$M_C = (2201.077i + 13321.262k)$$

$$M_T = (-24174.939i + 14216.16j + 14758.47k) Nmm$$

- **Diseño a corte**

En la Figura 38-3 se presenta el diseño a corte de los pernos.

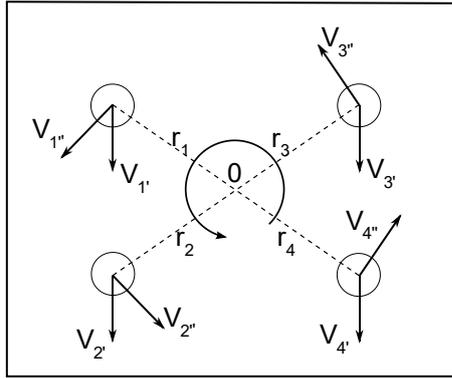


Figura 38-3: Diseño a corte pernos

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

- Cizalla primaria – F_y

$$V_1' = \frac{P}{N^{\circ} \text{ pernos}}$$

$$V_1' = \frac{30.024}{4} = 7.506 \text{ N}$$

- Cizalla secundaria - M_z

$$V_1'' = \frac{Tr_i}{\sum r^2}$$

$$r_i = \sqrt{65^2 + 45^2} = 79.057 \text{ mm}$$

$$V_1'' = \frac{(14758.47)(79.057)}{(79.057)^2 + (79.057)^2 + (79.057)^2 + (79.057)^2}$$

$$V_1'' = 46.67 \text{ N}$$

- Corte resultante

$$\theta = 90^{\circ} - \tan^{-1} \frac{45}{65}$$

$$\theta = 55.305^{\circ}$$

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_1' + \vec{V}_1''$$

$$\vec{V}_1 = \sqrt{(V_1'' * \sin \theta)^2 + (V_1' + V_1'' * \cos \theta)^2}$$

$$\vec{V}_1 = 51.315 \text{ N}$$

- **Diseño a tracción**

En la Figura 39-3 se presenta el diseño a corte de los pernos.

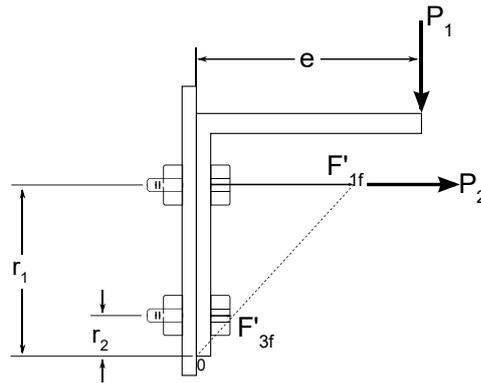


Figura 39-3: Diseño a tracción pernos
Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

- Tracción primaria – Fz

$$F'_1 = \frac{P}{N^\circ \text{ pernos}}$$

$$F'_1 = \frac{54.34}{4} = 13.585 \text{ N}$$

- Tracción secundaria - Mx

$$F''_1 = \frac{Mr_i}{\sum r^2}$$

$$r_1 = 14.7 \text{ mm} \qquad r_2 = 144.7 \text{ mm}$$

$$F''_{f1} = \frac{(24174.939)(104.7)}{(14.7)^2 + (144.7)^2}$$

$$F''_{f1} = 165.363 \text{ N}$$

$$F''_1 = \frac{F''_{f1}}{N^\circ \text{ de pernos de la fila}} = \frac{165.363 \text{ N}}{2}$$

$$F''_1 = 82.68 \text{ N}$$

- Tracción secundaria - My

$$F''_1 = \frac{Mr_i}{\sum r^2}$$

$$r_1 = 14.7 \text{ mm} \qquad r_2 = 104.7 \text{ mm}$$

$$F''_2 = \frac{(14216.16)(104.7)}{(14.7)^2 + (104.7)^2}$$

$$F''_2 = 133.155 \text{ N}$$

$$F''_2 = \frac{F''_{f2}}{N^\circ \text{ de pernos de la fila}} = \frac{133.155 \text{ N}}{2}$$

$$F''_1 = 66.58 \text{ N}$$

- Tracción resultante – Perno crítico 2

$$F = F'_1 + F''_1 + F''_2$$

$$F = 162.844 \text{ N}$$

- **Pretensión**

Es el torque de ajuste, carga axial en los pernos y compresión en los materiales, para juntas permanentes se detalló lo siguiente:

$$F_i = 0.9 S_p A_t$$

$$F_i = 0.9 (225) A_t$$

$$F_i = 202.5 A_t$$

- **Diseño caso estático**

$$n = 3$$

- Esfuerzo de corte

$$\tau = \frac{nV}{Ac}$$

Donde:

$$\frac{A_t}{Ac} = 1.5$$

$$\tau = \frac{1.5 * (3) * (51.315)}{A_t}$$

$$\tau = \frac{177.038}{A_t}$$

- Esfuerzo de tracción

$$\sigma = \frac{F_i}{A_t} + \frac{ncP}{A_t}$$

$$\sigma = \frac{202.5 A_t}{A_t} + \frac{(3) * (0.3) * (162.844)}{A_t}$$

$$\sigma = 202.5 + \frac{146.559}{A_t}$$

- Esfuerzo equivalente

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$240 = \sqrt{\left(202.5 + \frac{146.559}{At}\right)^2 + 3\left(\frac{177.038}{At}\right)^2}$$

$$At = 4.976 \text{ mm}^2$$

Seleccionamos un perno M5 X 0.8, por las condiciones a fatiga, ya que el empuje al momento de girar cambiará de dirección obtenido del anexo E.

3.4.7 Cálculo de baterías

Para el cálculo de las baterías que se necesita en el prototipo recolector, se debe tener las potencias con las que se van a trabajar, las cuales se especifican en la Tabla 32-3.

Tabla 32-3: Características para el cálculo de la propulsión

Cantidad	Ítem	Potencia	Total	Unidades
2	Motor de recolección	100	200	W
4	Propulsores	312	1248	W
1	Servomotor	3.2	3.2	W
1	Aparatos electrónicos	10	10	W
	Total		1461.2	W

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Se calculó la corriente necesaria para el banco de baterías por medio de la siguiente ecuación.

$$I = \frac{P_{consumo}}{V_t}$$

Donde:

I : Intensidad de corriente por día.

V_t : Tensión de trabajo (a elegir)

Se tomó como el valor de la tensión 24V.

$$I = \frac{1461.2 \text{ W}}{24 \text{ V}}$$

$$I = 60.88 \text{ A}$$

Para saber la corriente que necesitan las baterías para el prototipo se aplicó la siguiente ecuación, multiplicando la intensidad de corriente por las horas de funcionamiento y dividido para el porcentaje de trabajo de la batería.

$$CB = \frac{I * horas}{\%trabajo}$$

$$CB = \frac{60.88 A * 1.47 horas}{0.9}$$

$$CB = 99.44 Ah$$

Por lo tanto, se necesita una batería de 24V de 100 Ah, para que trabaje de manera autónoma durante 1 hora y media.

$$CB = 1 \text{ batería } (24V * 100Ah)$$

Se determinó un número de baterías de acuerdo con la disponibilidad que se encuentre en el mercado, encontrando diferentes marcas y las que más se adaptaron fueron baterías de 100 Ah con 12 V, necesitando para el equipo 2 baterías, para conectarlas en paralelo para sumar sus voltajes.

$$CB = 2 \text{ batería } (12V * 100Ah)$$

Las características de las baterías se presentan en la siguiente Tabla 33-3.

Tabla 33-3: Características de las baterías

Batería 100Ah / 12 V - Recargable	
Imagen	Características
	<p>Voltaje nominal: 12V</p> <p>Capacidad nominal: (20 Hr): 100 Ah</p> <p>Peso aproximado: 32.6 kg (71.9 lbs)</p> <p>Dimensiones: Longitud: 330mm; Ancho: 172mm; Altura 212mm.</p> <p>Terminal: T11- M8</p> <p>Material del Envase: ABS UL 94-HB (retardante de llama UL94V-0)</p> <p>Resistencia interna: Aprox. 5mΩ</p> <p>Rango de temperatura de operación: Descarga: 15 - 50°C (5 - 122°F) Carga: 15 - 40°C (5 - 104°F) Almacenamiento: 15 - 40°C (5 - 104°C)</p>

Fuente: Fuli Battery

Realizado por: Tapia C, Merino L, 2022

3.5 Validación mediante ANSYS

Debido a la complejidad geométrica que presentaron los elementos estructurales se realizó un análisis de esfuerzos y deformaciones por elementos finitos para corroborar la integridad del prototipo al momento de ponerlo en funcionamiento.

3.5.1 Análisis del casco del prototipo

3.5.1.1 Pre - proceso

- **Geometría**

El modelo del casco se lo realizó en el software SolidWorks 2020 como se ve en la Figura 40-3, cumpliendo con la mayoría de los detalles que se tendrá en la fabricación, sin embargo, con el módulo de SpaceClaim que presenta ANSYS se simplificó varios detalles de la geometría que no influían significativamente en el caso de estudio.

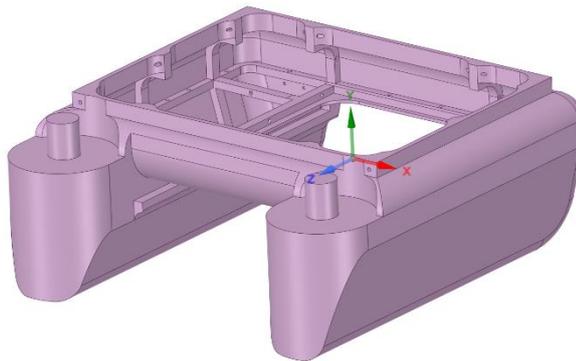


Figura 40-3: Geometría del casco del prototipo

Fuente: SpaceClaim

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

- **Material**

Se importó las propiedades de la fibra de vidrio desde el software Ces EduPack, estas se presentan en la Tabla 34-3.

Tabla 34-3: Propiedades del material del casco

Material	Fibra de Vidrio	
Densidad	2220	Kg.m ³
Módulo de Young	16.5	GPa
Poisson	0,15	
Yield Strength (elastic limit)	55	MPa

Compressive Strength	33	MPa
Tensile Strength	55	MPa

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

- **Mallado**

Como el cuerpo presenta geometrías irregulares se aplicó un método global el cual fue por tetraedros y como algoritmo un Patch Conforming con Element Size de 14 mm debido a que es el que mejor ajuste presentó con una curva de calidad de malla con tendencia hacia la derecha.

En la Figura 41-3 se observa cómo se malló el elemento el software ANSYS.

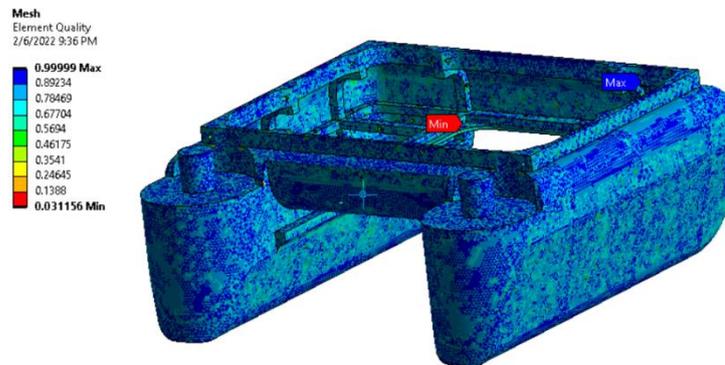


Figura 41-3: Mallado del casco del prototipo

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Una vez mallado el casco se encontró un tamaño de malla mínimo de 0.03115 mm, que se encuentra en pequeñas partes de la geometría que no se pudo simplificar, este valor se ignora porque no se encuentra lugares críticos de análisis. Este tamaño es aceptable ya que se tiene una tendencia de malla hacia la derecha un promedio de 0.8119.

- **Parametrización**

Una vez mallado se pusieron las restricciones y fuerzas para cada análisis de esfuerzo, se procedió a parametrizar el tamaño de la malla con los resultados de las deformaciones y esfuerzos producidos en el casco, para de esta manera encontrar los valores más cercanos al real. En la Tabla 35-3 se describen los valores obtenidos para el análisis de convergencia para tamaños de malla diferentes.

Tabla 35-3: Estudio de convergencia casco del prototipo recolector.

Iteraciones	Mesh Element Size (mm)	Total Deformation Maximum (mm)	Equivalent Stress Maximum (MPa)
0	40	0.010154	2.0975
1	35	0.010481	2.1158
2	30	0.010926	2.1996
3	25	0.011061	2.7442
4	16	0.011342	2.5926
5	14	0.011365	3.8295
6	13	0.011393	3.0239
7	12	0.011417	4.2568
8	11	0.011418	4.3574
9	10	0.011422	4.5258
10	9	0.011429	3.7352

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

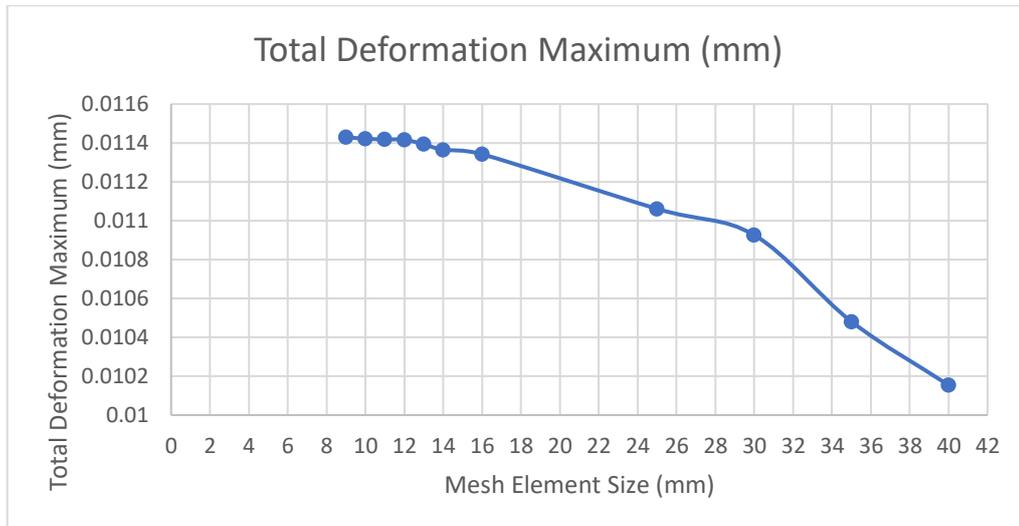


Gráfico 4-3: Diagrama Malla vs Deformación Total

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L, 2022

En el Gráfico 4-3 se obtuvo el estudio de convergencia donde arroja que para el valor de 12 mm las deformaciones no sufren cambios relevantes es decir existe una estabilización de los valores, a diferencia de la gráfica para esfuerzos donde no se muestra un punto en donde tienda a estabilizarse.

3.5.1.2 Proceso – Esfuerzo de arrufo en eslora

- **Restricciones y Fuerzas**

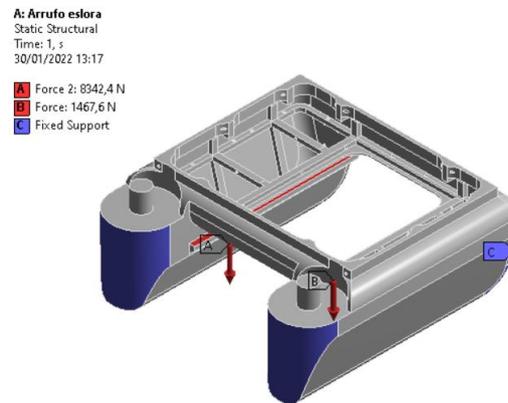


Figura 42-3: Restricciones y Fuerzas – Esfuerzo de arrufo eslora

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En el análisis del esfuerzo de arrufo en la eslora se pusieron restricciones fijas en los extremos del casco como si fuera una viga como se muestra en la Figura 42-3, luego se aplicaron las fuerzas a lo largo de la eslora con un valor de -8342.4 N siendo este el valor del casco con todos los componentes del prototipo, además se aplica otra fuerza en los soportes donde se ubicará la canastilla este valor es igual al peso de esta incluido los desechos recolectados siendo este un valor de -1467.6 N.

3.5.1.3 Post Proceso – Esfuerzo de arrufo en eslora

- **Resultados**

- Deformaciones

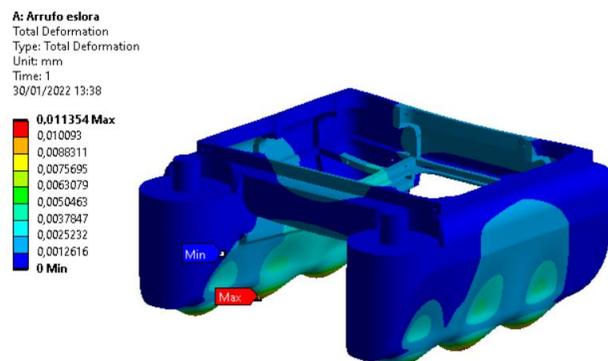


Figura 43-3: Deformaciones – Esfuerzo de arrufo eslora

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Para el estado de deformaciones se analizó el esfuerzo de arrufo en eslora como se muestra en la Figura 43-3, encontrando una deformación máxima de 0.011354 mm, al trabajar el prototipo con su máxima carga, es decir cuando este está cargado con todos sus elementos incluido el peso de la basura recolectada. Este valor de deformación es bueno ya que no sobrepasa los límites de deformación para eslora.

- Esfuerzo Equivalente

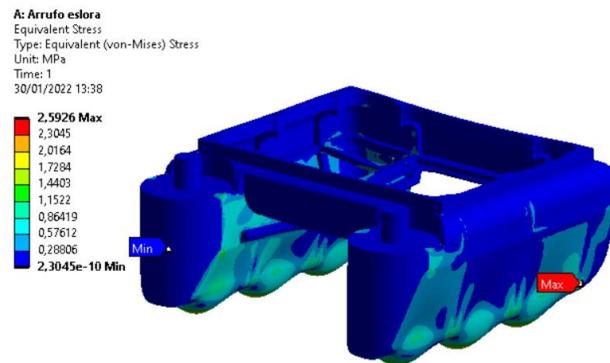


Figura 44-3: Esfuerzo Equivalente – Esfuerzo de arrufo eslora

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Para las mismas condiciones de carga se analizó el Esfuerzo Equivalente en la Figura 44-3, determinado un valor máximo de 2.5926 MPa, siendo este un valor aceptable debido a que el límite elástico del material es de 55 MPa.

3.5.1.4 Proceso – Esfuerzo de arrufo en manga

- **Restricciones y Fuerzas**

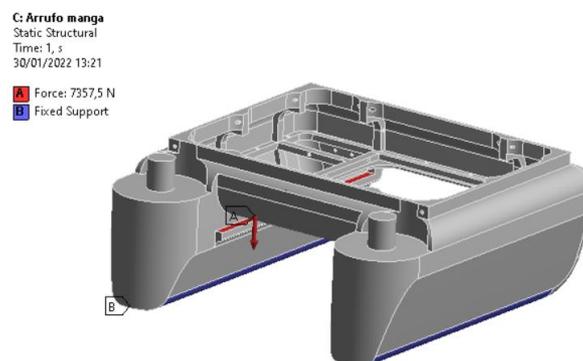


Figura 45-3: Restricciones y Fuerzas – Esfuerzo de arrufo manga

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En el análisis del esfuerzo de arrufo en manga se aplican las restricciones fijas en lo largo del casco como se muestra en la Figura 45-3. A continuación, se aplican la fuerza con un valor de 7357.5 N siendo este el valor del peso del casco con todos los componentes del prototipo.

3.5.1.5 Post Proceso – Esfuerzo de arrufo manga

- **Resultados**

- Deformaciones

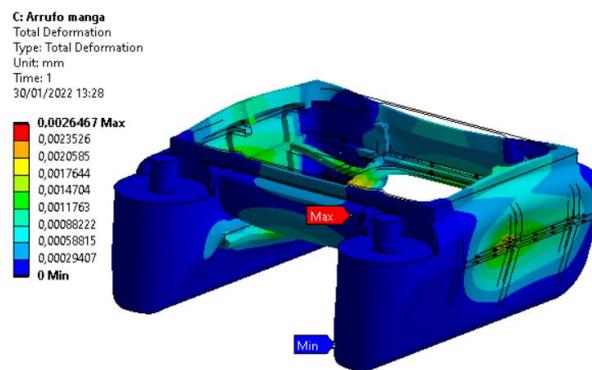


Figura 46-3: Deformaciones – Esfuerzo de arrufo manga

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Para el estado de deformaciones se analizó el esfuerzo de arrufo en la manga encontrando una deformación máxima de 0.0026467 mm como se ve el análisis en la Figura 46-3, al trabajar el prototipo con su máxima carga, es decir cuando este está cargado con todos sus elementos incluido el peso de la basura recolectada. Este valor de deformación es bueno ya que no sobrepasa los límites de deformación para la manga.

- Esfuerzo Equivalente

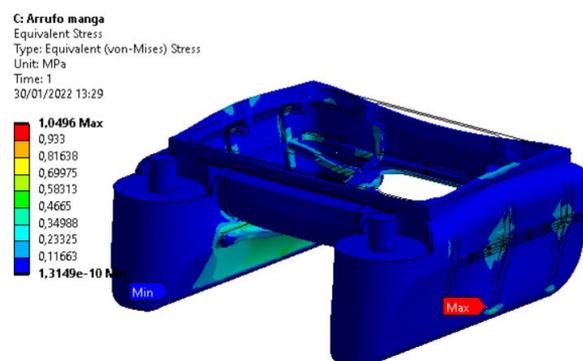


Figura 14-3: Esfuerzo Equivalente – Esfuerzo de arrufo manga

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Para las mismas condiciones de carga se analizó el Esfuerzo Equivalente encontrando un valor máximo de 1.0496 MPa como se presenta en la Figura 47-3, siendo este un valor aceptable ya que el límite elástico del material es de 55 MPa.

3.5.1.6 *Proceso – Esfuerzo de quebranto en eslora*

- **Restricciones y Fuerzas**

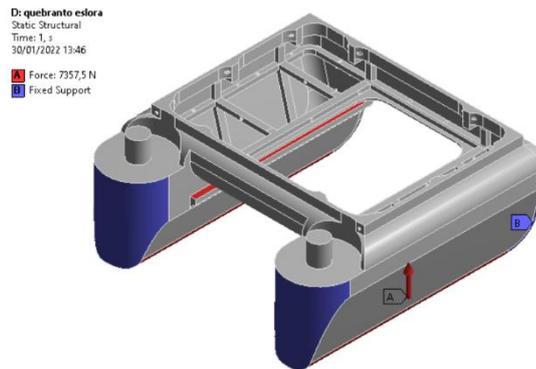


Figura 48-3: Restricciones y Fuerzas – Esfuerzo de quebranto eslora

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En el análisis del esfuerzo de quebranto en la eslora se aplican las restricciones fijas en el casco ubicándolas en la proa y popa como se ve en la Figura 48-3, a continuación, se aplican las fuerzas a lo largo de la eslora con un valor de 7357.5 N siendo este el valor del empuje del casco del prototipo se debe tomar en cuenta que en este caso la fuerza total es dirigida hacia arriba.

3.5.1.7 *Post Proceso – Esfuerzo de quebranto en eslora*

- **Resultados**

- Deformaciones

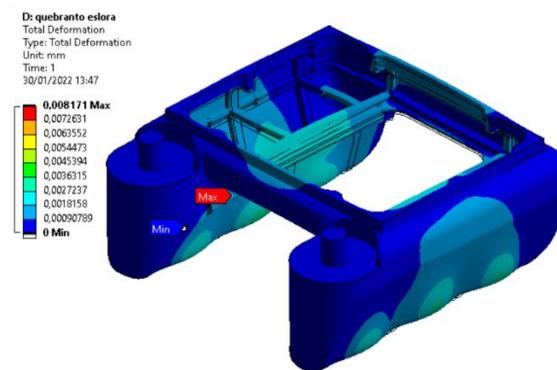


Figura 49-3: Deformaciones – Esfuerzo de quebranto eslora

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Las deformaciones en el caso del esfuerzo de quebranto en la eslora encontramos un valor máximo de 0.008171 mm viéndolo en la Figura 49-3, al trabajar el prototipo en el caso más crítico que es cuando está cargado. Este valor de deformación es bueno ya que no sobrepasa los límites de deformación para la eslora.

- Esfuerzo Equivalente

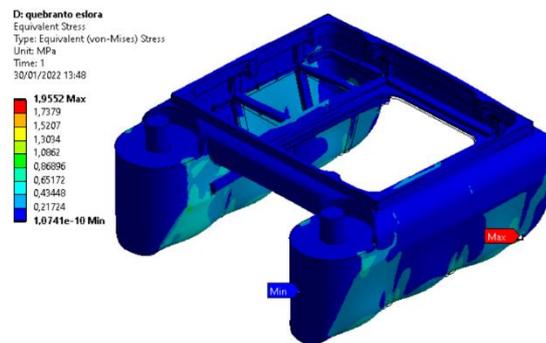


Figura 50-3: Esfuerzo Equivalente – Esfuerzo de quebranto eslora

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Para las mismas condiciones críticas se analiza el esfuerzo de quebranto en la eslora encontrando un valor máximo de esfuerzo equivalente de 1.9552MPa como se muestra en la Figura 50-3, este resultado es bueno para el análisis del casco ya que este es menor al límite elástico del material de 55 MPa.

3.5.1.8 *Proceso – Esfuerzo de quebranto en manga*

- **Restricciones y Fuerzas**

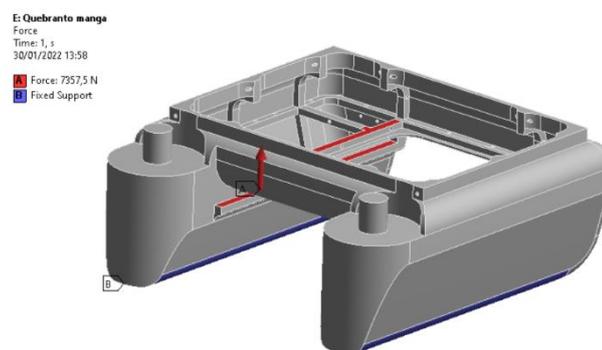


Figura 51-3: Restricciones y Fuerzas – Esfuerzo de quebranto en manga

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En el análisis del esfuerzo de quebranto en la manga se aplican las restricciones fijas a lo largo casco como se observa en la Figura 51-3. A continuación, se aplican las fuerzas con un valor de

7357.5 N siendo este el valor del empuje del prototipo se debe también tomar en cuenta que en este caso la fuerza total es dirigida hacia arriba.

3.5.1.9 Post Proceso – Esfuerzo de quebranto en manga

- **Resultados**
- Deformaciones

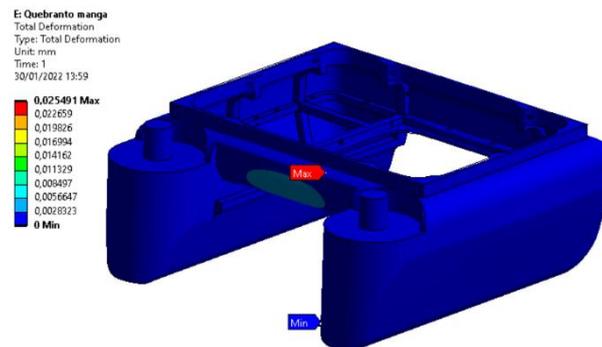


Figura 52-3: Deformaciones – Esfuerzo de quebranto en manga

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Se analizaron las deformaciones en el caso del esfuerzo de quebranto para la manga encontrando un valor máximo de 0.025491 mm como se ve en la Figura 52-3, cuando el prototipo se analiza en el caso más crítico que es cuando está completamente cargado. Este valor de deformación es bueno ya que no sobrepasa los límites de deformación para la manga.

- Esfuerzo Equivalente

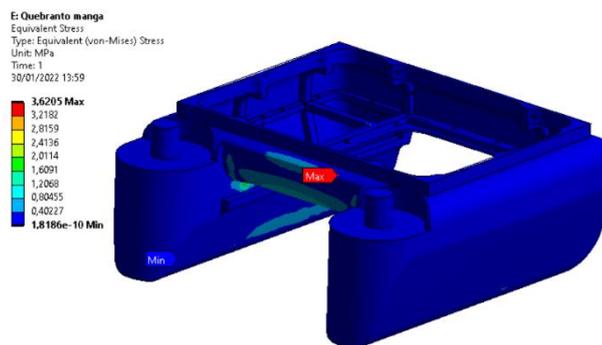


Figura 53-3: Deformaciones – Esfuerzo de quebranto en manga

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Con las mismas condiciones críticas se analizó el esfuerzo de quebranto en la manga teniendo un máximo esfuerzo equivalente de 3.6205 MPa como se puede ver en la Figura 53-3, siendo este un resultado bueno ya que este valor es menor al límite elástico del material de 55 MPa.

3.5.1.10 *Proceso – Compresión del casco*

- **Restricciones y Fuerzas**

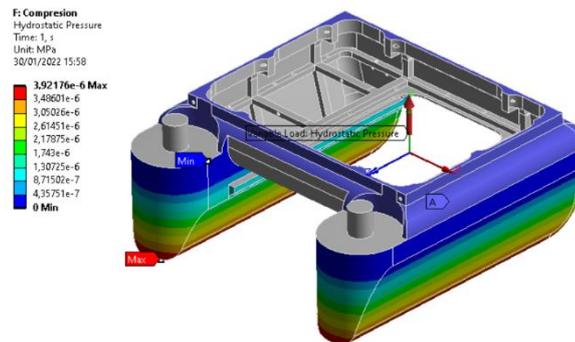


Figura 54-3: Restricciones y Fuerzas – Compresión del casco

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Otro punto de análisis que se tomó en cuenta son las presiones hidrostáticas ejercidas por el agua alrededor del casco del prototipo recolector de residuos flotantes al momento que se desplaza por las aguas lénticas para recoger los residuos, estas presiones son dirigidas hacia adentro del casco, se aplicaron los apoyos fijos en la parte superior de este como se muestra en la Figura 54-3.

3.5.1.11 *Post Proceso – Compresión del casco*

- **Resultados**

- Deformaciones

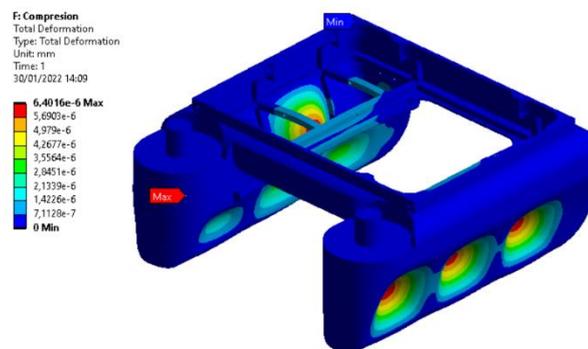


Figura 55-3: Deformaciones – Compresión del casco

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Se analizó la compresión del casco ejercida por la presión hidrostática del agua en la Figura 55-3 y se determinó que las paredes del casco del prototipo tienen una deformación máxima de 0.0000064 mm lo que quiere decir que esta presión no ejerce mayor daño en el casco.

○ Esfuerzo Equivalente

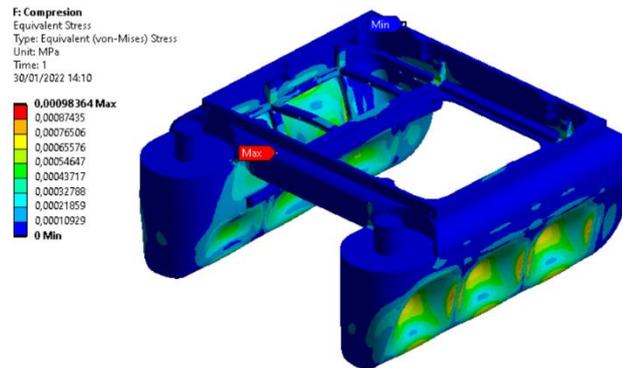


Figura 56-3: Esfuerzo Equivalente – Compresión del casco

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Con las mismas condiciones de la presión hidrostática obtenemos un valor de esfuerzo equivalente de 0.00098364 MPa como se ve en la Figura 56-3, este es un buen resultado ya que está por debajo del límite elástico del material con el que se construirá el prototipo.

3.5.2 *Análisis del soporte base motores*

3.5.2.1 *Pre – Proceso*

- **Geometría**

El modelo del soporte de la base de los motores se lo realizó en el software SolidWorks 2020, cumpliendo con las características para conectar los propulsores al casco del prototipo con ayuda del módulo de SpaceClaim que presenta ANSYS se simplificó varios detalles de la geometría que podrían ocasionar que en esos puntos haya concentradores de malla como se puede ver en la Figura 57-3.

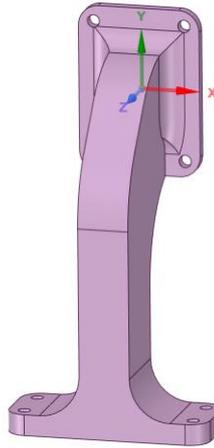


Figura 57-3: Geometría base motores

Fuente: SpaceClaim. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

- **Material**

Se importó las propiedades de la fibra de vidrio desde el software Ces EduPack como se detalla en la Tabla 36-3.

Tabla 36-3: Propiedades del material del soporte de los propulsores

Material	PLA	
Densidad	2220	Kg.m ³
Módulo de Young	15.73	GPa
Poisson	0.13964	
Yield Strength (elastic limit)	55	MPa
Compressive Strength	33	MPa
Tensile Strength	55	MPa

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

- **Mallado**

Como el cuerpo presenta geometrías irregulares se aplicó un Patch Conforming como método global con una malla de 7 mm, además se insertó un Body Sizing de 4 mm para controlar el tamaño de la malla del cuerpo, para controlar la tendencia de la malla hacia la derecha se implementó también controladores locales como un Face Sizing de 2 mm en la parte de la curvatura del elemento. Como presenta agujeros para la colocación de pernos se insertó un Face Sizing de 1 mm en la cara interior de estos para luego aplicar un Inflation con tres capas, un Growth Rate de 1.5 y Maximum Thickness de 1.5 mm, esto se puede ver en la Figura 58-3.

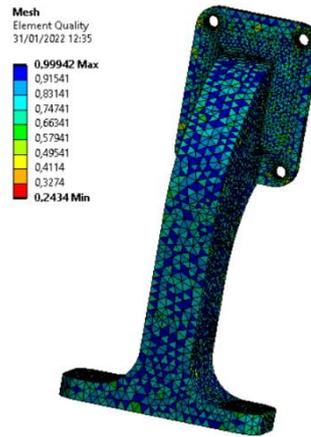


Figura 58-3: Mallado base motores

Fuente: SpaceClaim. 2021

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

- **Parametrización**

Una vez mallada la geometría se pusieron las restricciones y fuerzas para cada análisis de esfuerzo, se procedió a parametrizar el tamaño de la malla con los resultados de las deformaciones y esfuerzos producidos en el casco, para de esta manera encontrar los valores más cercanos al real. En la siguiente Tabla 37-3 se describen los valores obtenidos para el análisis de convergencia para tamaños de malla diferentes.

Tabla 37-3: Estudio de convergencia casco del prototipo recolector

Iteraciones	Mesh Element Size (mm)	Total Deformation Maximum (mm)	Equivalent Stress Maximum (MPa)
0	14	0.024148	8.1543
1	12	0.024154	8.2528
2	10	0.024159	8.5562
3	8	0.024166	8.7884
4	7	0.024169	9.3921
5	6	0.024170	9.0433
6	5	0.024170	9.704
7	4	0.02417	10.213

Fuente: ANSYS 2020 R1. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

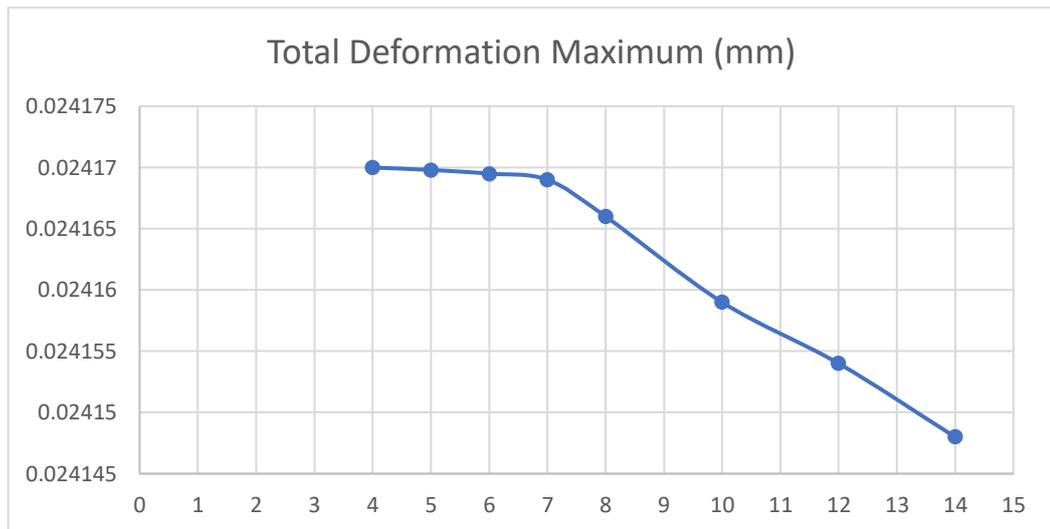


Gráfico 5-3: Diagrama Malla vs Deformación Total

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L, 2022

En el Gráfico 5-3 se muestra el estudio de convergencia donde se observa que la curva de deformación se estabiliza con una malla de 7 mm, se utilizó esta gráfica debido a que se muestra una mayor estabilización a diferencia de la gráfica de esfuerzos donde existe una variabilidad notable gráfico.

3.5.2.2 Proceso soporte base motores

- **Restricciones y Fuerzas**

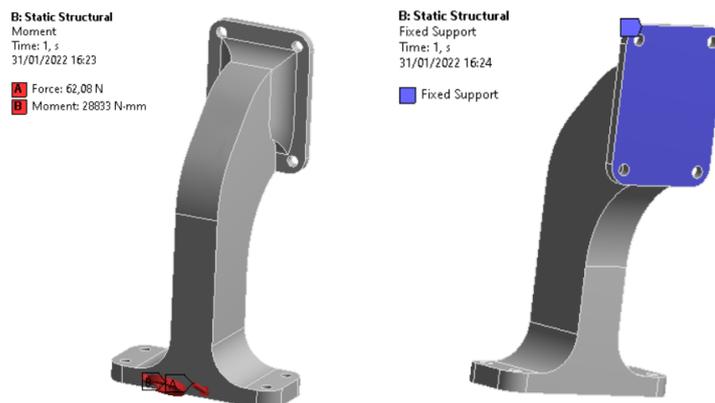


Figura 59-3: Restricciones y Fuerzas – Base motores

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L, 2022

Para el análisis de los soportes de los motores se aplicó un Fixed Support en la cara superior ya que ahí se mantendrán fijos por medio de cuatro pernos, además se aplicó una fuerza y momento

resultante de 62.08 N y 28833Nm respectivamente, estos valores son producidos por el empuje de los motores, el peso de estos y los pesos de las barras de soporte, como se puede ver en la Figura 59-3.

3.5.2.3 Post Proceso soporte base motores

- **Resultados**
 - Deformaciones

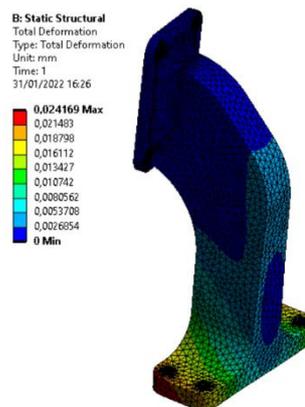


Figura 60-3: Deformaciones – Base motores

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Por medio del análisis de elementos finitos se encontró que el soporte de los motores se va a tener una deformación máxima de 0.024169 mm como se ve en la Figura 60-3, lo cual no presentan valores significativos que puedan afectar en el diseño de esta pieza.

- Esfuerzo Equivalente

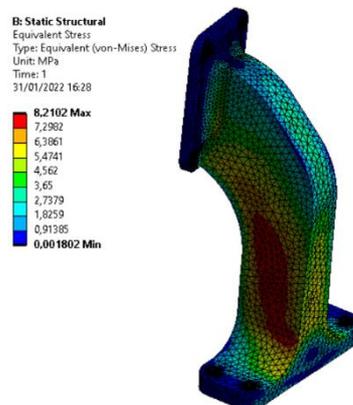


Figura 61-3: Esfuerzo Equivalente – Base motores

Fuente: ANSYS 2020 R1, 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

El esfuerzo equivalente de Von Misses presentado en el análisis de la base de los motores es de 8.2102 MPa el cual es aceptable ya que es menor al límite de fluencia del material. Este esfuerzo se presenta en la parte vertical del elemento cerca al lugar de anclaje inferior de los propulsores, como se muestra en la Figura 61-3.

3.6 Sistema de control

Con la implementación de este sistema se logró que el prototipo realice las actividades para las que fue diseñado, el mismo consta de tres subsistemas que permitieron la comunicación entre el prototipo y su usuario.

3.6.1 LORAWAN

La comunicación entre el usuario y el prototipo se realizó mediante el protocolo de red LORAWAN, permitiendo recibir la información del estado de carga, nivel de llenado y posicionamiento espacial (GPS), para esto se emplearon los siguientes componentes electrónicos.

3.6.1.1 TTGO

Por medio de esta tarjeta se dio la comunicación mediante lora entre los sensores y actuadores transmitiendo datos e información de la ubicación del prototipo al usuario gracias a la pantalla OLED y el GPS integrados al dispositivo, las características se presentan en la Tabla 38-3.

Tabla 38-3: Características TTGO

TTGO Meshtastic T-Beam V1.1 ESP32	
Imagen	Características
	<p>Voltaje nominal: 1.8-3.7V</p> <p>Peso aproximado: 0.04 kg (0.1 lbs)</p> <p>Dimensiones: 100mm x 24.89mm x 20.07mm.</p> <p>Rango de temperatura de trabajo: -40 - 85°C</p> <p>WIFI.</p> <p>GPS modulo NEO-6M</p> <p>Bluetooth</p> <p>PSRAM de 8 MB.</p> <p>Flash de 4 MB.</p> <p>Antena 3D</p> <p>LORA</p>

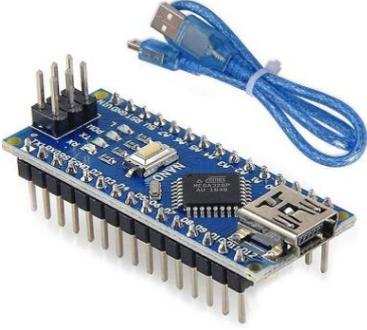
Fuente: LILYGO TTGO. 2022

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.6.1.2 *Arduino Nano*

Se usó un Arduino nano como medio de comunicación entre la placa TTGO y los sensores, actuadores y la fuente de alimentación asegurando de esta forma un trabajo seguro del sistema de comunicación LORAWAN, en la Tabla 39-3 se detalla sus características.

Tabla 39-3: Características Arduino Nano

Arduino NANO	
Imagen	Características
	<p>Voltaje nominal: 5V</p> <p>Peso aproximado: 0.005 kg</p> <p>Dimensiones: 45mm x 18mm</p> <p>Procesador: ATmega328 16 MHz</p> <p>Mini USB Conector</p> <p>14 pines</p>

Fuente: ARDUINO.CC. 2021

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.6.1.3 *Sensores*

Se colocaron 2 sensores Sharp GP2Y0A21 anclados al cuerpo alineados al comienzo de la canasta de recolección, estos sensores funcionan por medio de infrarrojo que permite medir cuan alejado está el sensor de algún objeto en el rango de 10 cm a 80 cm, dándonos la información necesaria para saber si la canasta está o no llena. Sus características se detallan en la Tabla 40-3.

Tabla 40-3: Características de los sensores Sharp

Sensores Sharp	
Imagen	Características
	<p>Distancia de medición: 10 cm – 80 cm</p> <p>Salida (v): 1 V – 1.3 V</p> <p>Voltaje de alimentación: 4.5 V – 5 V</p> <p>Conexión: JSTPH de 3 pines</p> <p>Dimensiones: 29.5 mm x 13 mm x 13.5 mm</p>

Fuente: NAYLAMP. 2021

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.6.1.4 ACS

El sensor de corriente ACS712 30A se colocó para la verificación y control de servicios técnicos entre las baterías y la placa TTGO, en la Tabla 41-3 se puede ver sus detalles.

Tabla 41-3: Características ACS

ACS712 30A	
Imagen	Características
	<p>Amperaje: 30 A</p> <p>Sensibilidad: 66mV/A</p>

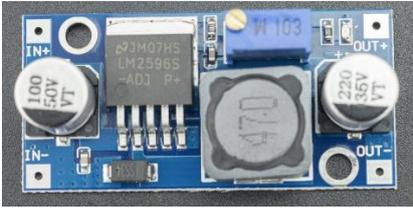
Fuente: CORPORATION R&CH. 2021

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.6.1.5 LMI

El módulo LM2596 se colocó con la finalidad de reducir el voltaje y conducir corriente de hasta 3A, entre las baterías y la placa TTGO, las características del módulo se presentan en la Tabla 42-3.

Tabla 42-3: Características LM1

LM2596	
Imagen	Características
	<p>Voltaje de entrada: 4.5 V – 35 V</p> <p>Voltaje de salida: 1.25 V – 3 V</p> <p>Corriente de entrada: 5A</p> <p>Corriente de salida: 3A</p> <p>Potencia: 25W</p> <p>Eficiencia: 92%</p>

Fuente: VISTRONICA SA. 2021

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Todos estos elementos fueron conectados como se muestra en el siguiente diagrama.

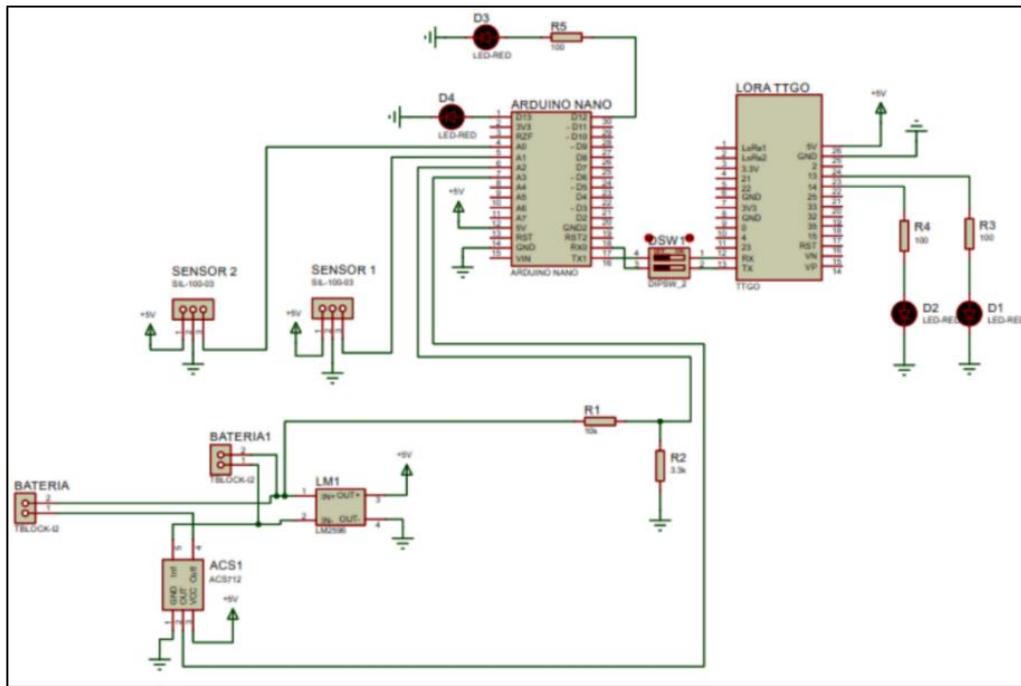


Figura 62-3: Conexión sistema LORAWAN

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Figura 62-3 se explica la conexión del sistema LORAWAN, el cual consta de 2 sensores Sharp que están encargados de detectar los objetos que se almacenarán en la canastilla, los datos son leídos por el Arduino Nano y transformados en texto para el TTGO. Estos datos son programados en LabVIEW por medio de una comunicación serial. Los valores obtenidos se pueden ver una interfaz de usuario donde se tienen los datos de: longitud, latitud, voltaje y corriente. La programación desarrollada en el software se adjunta en el Anexo F.

También se puede observar en el esquema que tiene 4 led conectados, estos son para saber que la placa y el Arduino estén funcionando, es decir el un led indica que esta prendida la placa y el Arduino respectivamente y el otro nos dice que se están enviado los datos.

3.6.2 Radio control

Mediante este sistema se pudo accionar los distintos elementos que componen los sistemas de recolección y propulsión siendo las actividades principales las descritas a continuación

- Control On/Off de bandas.
- Control On/Off de propulsores.
- Aceleración de propulsores.
- Maniobrabilidad mediante el control de un servomotor.

Este control posee un máximo alcance de 1km y su conexión se muestra en el siguiente diagrama.

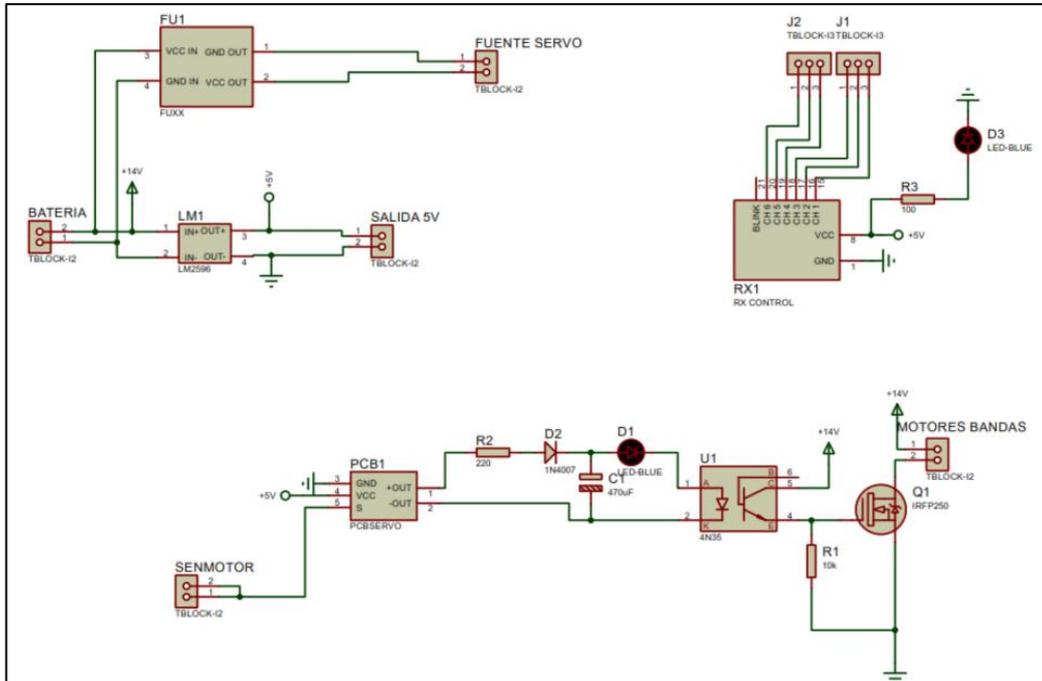


Figura 63-3: Conexión del sistema de radio control

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Figura 63-3 en la parte superior izquierda se observa la conexión del sistema de maniobrabilidad por medio de una fuente de voltaje de 100 W para reducir el voltaje entre las baterías que trabajan con 14.8 V con el servo motor que trabaja con 8.6 V.

La figura de la parte superior derecha muestra el receptor del radio control que permite establecer la comunicación entre distintos canales por medio de la conexión a las borneras, estos canales se encargan del encendido y apagado de propulsores, maniobrabilidad, conexión del servomotor y de los motores de las bandas. Además, este sistema es conectado a un led que nos indica si está encendido o apagado.

La figura en la parte inferior muestra el circuito integrado encargado del encendido y apagado de bandas laterales.

3.6.3 FPV

El sistema FPV “First Person View”, está compuesto por una cámara y un visor que permite ver en tiempo real las imágenes que está transmitiendo la cámara, como si realmente se estuviera piloteando o manejando el prototipo recolector de residuos flotantes. También está compuesto en su parte electrónica por un transmisor de video RF y un receptor de video RX.

En la siguiente figura se puede observar la conexión del sistema FPV.

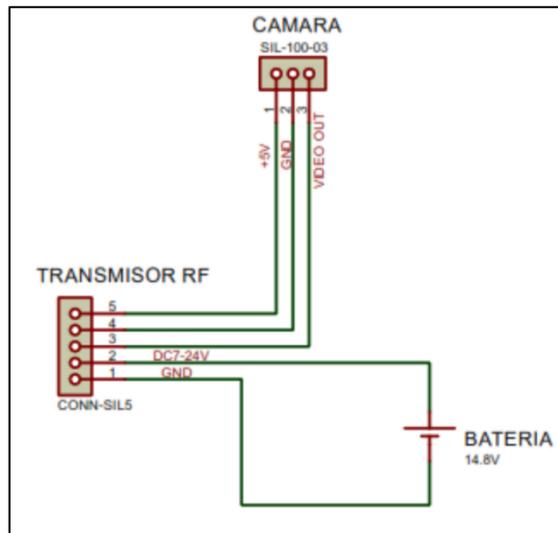


Figura 154-3: Conexión del sistema FPV

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Figura 64-3 se muestra la conexión del sistema FPV, en la parte inferior se encuentra el trasmisor RF el cual transmite una manera análoga o digital cumple la función de recibir la imagen que emite la cámara para enviar esta señal de forma inalámbrica al receptor. El receptor conectado por la misma señal recibe las imágenes de la cámara para poder observar por medio de los visores.

3.7 Diagrama de flujo para la construcción del prototipo

En el Gráfico 6-3 se muestra el diagrama de proceso para la construcción del prototipo. Se partió del diseño y modelado en SolidWorks tomando en cuenta las especificaciones y requerimientos obtenidos en la casa de la calidad.

Con el diseño final del prototipo se elaboró una lista para adquirir los materiales que servirán para la construcción. Se partirá de la impresión en PLA del cuerpo y componentes que presenta el prototipo, para posteriormente ensamblarlo e impermeabilizarlo con fibra de vidrio, por su alta resistencia en ambientes corrosivos.

Una vez armado el sistema estructural se procedió a mecanizar los ejes para el sistema de bandas del mecanismo de recolección en acero inoxidable y elaborar la canastilla para el almacenamiento de residuos en plancha de aluminio de 1.5 mm de espesor. A continuación, se ensamblaron todos los competentes.

Finalmente, con el sistema mecánico ensamblado en su totalidad se colocaron los elementos del sistema electrónico para su posterior conexión y desarrollo del algoritmo de control. Además, el prototipo tuvo una fase de pruebas que nos ayudó comprobar el funcionamiento del prototipo recolector de residuos flotantes.

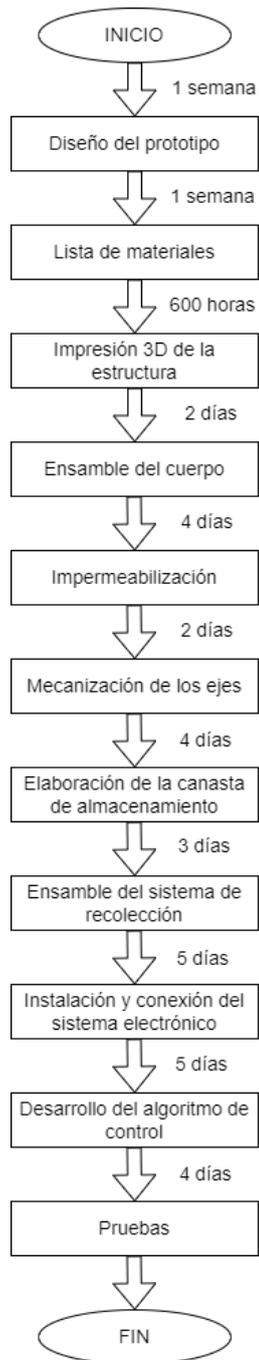


Gráfico 6-3: Diagrama de flujo de construcción del prototipo

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.8 Protocolo de pruebas

Para el desarrollo del protocolo de comprobaciones del prototipo recolector de residuos flotantes en aguas lénticas se utilizó la siguiente metodología, mostrada en el Gráfico 7-3.

- Identificación de la necesidad.
- Formulación de objetivos.

- Planteamiento de ítems a evaluar.
- Desarrollo del protocolo de pruebas.
- Comprobación del prototipo con los formatos realizados.

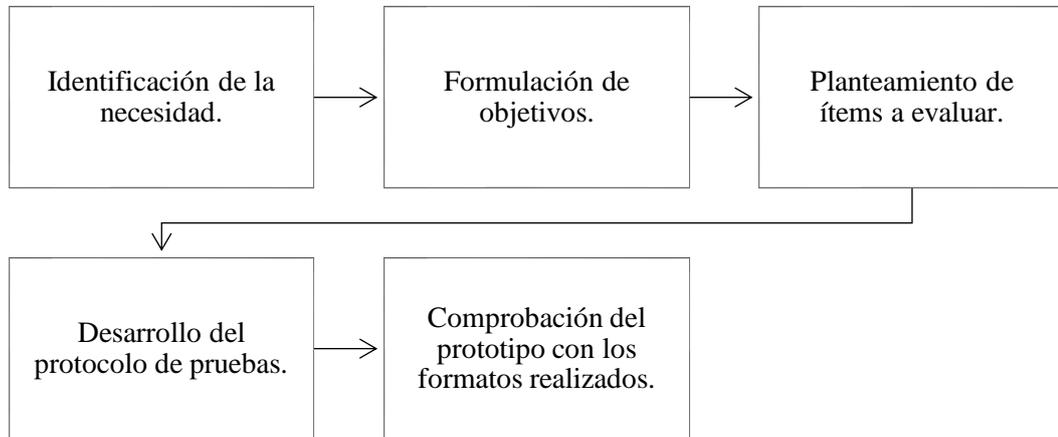


Gráfico 7-3: Metodología usada en el desarrollo del protocolo de comprobaciones.

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.8.1 *Identificación de la necesidad*

El prototipo recolector de residuos flotantes en aguas lénticas está conformado por varios sistemas que merecen ser evaluados en distintas condiciones de operación, razón por la cual se desarrolló un protocolo de pruebas que ayude a verificar el funcionamiento de estos aumentando su fiabilidad y promoviendo un plan de mejoras en líneas futuras.

3.8.2 *Formulación de objetivos*

El objetivo principal es comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas que conforman el prototipo recolector de residuos flotantes mediante la aplicación de distintas condiciones de operación que se dividen en fases detalladas a continuación.

- **Fase 1**

El prototipo debe permanecer estático en el agua, sin carga y los sistemas de control activados.

- **Fase 2**

El prototipo debe moverse por el agua, sin carga y los sistemas de control activados.

- **Fase 3**

El prototipo debe moverse por el agua, recolectar residuos y los sistemas de control activados.

- **Fase 4**

El prototipo debe moverse por el agua con carga máxima y los sistemas de control activados.

3.8.3 *Planteamiento de ítems a evaluar*

Para cada sistema fue desarrollado un protocolo de comprobaciones independiente en las fases propuestas, es por esto por lo que se especificará los parámetros que serán evaluados por cada uno de ellos.

3.8.3.1 *Sistema estructural*

En el sistema estructural se evaluaron tres aspectos como se muestra en la Tabla 43-3.

Tabla 43-3: Protocolo de pruebas sistema estructural

Componente del sistema	Ítem a verificar	Método de diagnóstico
Estructural	Flotabilidad	Visual
	Hermeticidad	Visual
	Deformaciones	Herramientas

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.8.3.2 *Sistema propulsor*

En el sistema propulsor fueron evaluados los aspectos más relevantes como las velocidades alcanzadas tanto lineales como angulares, como se detalla en la Tabla 44-3

Tabla 44-3: Protocolo de pruebas sistema propulsor.

Componente del sistema	Ítem a verificar	Método de diagnóstico
Propulsión	Velocidad lineal	Herramientas
	Velocidad angular	Herramientas

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.8.3.3 Sistema recolector

En el sistema recolector se evaluaron los aspectos que se encuentran en la Tabla 45-3.

Tabla 45-3: Protocolo de pruebas sistema recolector.

Componente del sistema	Ítem a verificar	Método de diagnóstico
Recolección y almacenamiento	Funcionamiento	Visual
	Capacidad	Herramientas
	Arrastre de bandas en boyas	Visual
	Autonomía	Herramientas
	Montaje y desmontaje	Manual

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.8.3.4 Sistema de control

En el sistema de control se evaluó los ítems principales para la correcta comunicación entre el usuario y el prototipo, detallados en la Tabla 46-3.

Tabla 46-3: Protocolo de pruebas sistema de control.

Componente del sistema	Ítem a verificar	Método de diagnóstico
Control	Radiocontrol	Manual
	Comunicación por telemetría	Herramientas
	Estados de carga	Visual

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

3.8.4 Desarrollo del protocolo de pruebas

3.8.4.1 Contenido

El protocolo se ha dividido en varias partes claramente diferenciadas que permitieron llevar un mejor registro de las pruebas realizadas.

La primera parte se encuentra constituida por:

- Encabezado y logos de la institución.
- Lugar de pruebas.
- Fecha.

- Prototipo.
- Condiciones del clima.
- Hora de inicio.
- Hora de fin.
- Temperatura ambiente.
- Responsables.

La segunda parte se encuentra conformada por el código y métodos de evaluación a ser usados en el protocolo.

Los códigos son:

- OK: Correcto, indica que el parámetro evaluado funciona correctamente.
- NA: No aprueba, indica que el parámetro evaluado no aprueba y debe plantear la idea de mejorar.

La Tabla 47-3 se muestra los métodos de evaluación a ser utilizados.

Tabla 47-3: Métodos de evaluación

Método	Descripción
Visual	Es únicamente necesario utilizar la vista para evaluar.
Manual	Se deben usar las manos para realizar la evaluación.
Auditivo	Se debe escuchar para realizar la evaluación.
Herramientas	Se deben utilizar herramientas para realizar la evaluación.

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

La tercera parte se encuentra dividida en 5 columnas descritas a continuación:

- En la primera columna se da el código del componente es decir correcto o no aprueba.
- En la segunda columna se detalla el subsistema al que pertenece junto con las operaciones a evaluar
- En la tercera columna se detallan los parámetros que serán evaluados.
- La cuarta columna indica el método de evaluación a utilizarse.
- La quinta columna se usa para escribir los comentarios del inspector o responsable de la evaluación.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Proceso de construcción del prototipo

Para la construcción del prototipo a escala se obtuvo los materiales más adecuados para cada uno de los sistemas, de esta manera se pudo observar cuál es el funcionamiento del prototipo real y así validar su funcionamiento, observando si tiene fallos para realizar las respectivas correcciones. En la construcción se siguieron los diseños realizados en SolidWorks los cuales nos dieron una idea clara de cómo debe observarse el prototipo ya terminado. Se construyó con una escala de 1:2 manteniendo cada uno de los detalles de diseño.

En la Tabla 1-4 se presenta el listado de los materiales para la construcción del modelo a escala del prototipo recolector de residuos flotantes.

Tabla 4-4: Lista de materiales de construcción del prototipo

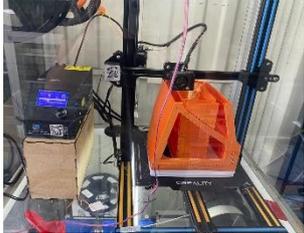
Descripción	Cantidad
Filamento PLA	25 rollos
Filamento PETG	1 rollo
Filamento TPU	1 rollo
Plancha de aluminio 240x800x1.5 mm	1
Barra de acero inoxidable ϕ 30mmx1m	1
Rodamientos SKF 46mm	2
Motor sin escobillas 2.6 lb, de 12V	4
Tarjeta TTGo Meshtatic Tbeam	1
Servo ANNIMOS 132,3 lb Digital 8,4 V	1
Baterías LIPO 4S, 14.8 V	2
Arduino Nano	1
Radio Control	1
Sistema FPV	1
Sensores SHARP	2
Motores Pololu	2

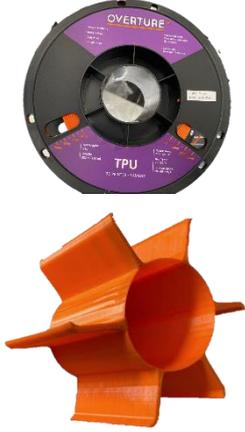
Elementos de unión	25
Caucho de silicón	1
Componentes electrónicos	1

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Una vez obtenidos los materiales necesarios, se procedió a crear el modelo 3D del prototipo recolector de plásticos a escala. En la Tabla 2-4, se presenta el procedimiento para su construcción.

Tabla 5-4: Proceso para la construcción del prototipo

Proceso de construcción del prototipo		
Fase	Características	Resultado
Modelo 3D del casco y los brazos laterales del prototipo.	Impresión 3D en filamento de PLA, de cada una de las partes del casco y brazos laterales. El tipo de malla de impresión es cúbica con un espesor de 3mm.	
Ensamble del cuerpo.	Una vez impresas las partes del casco y boyas laterales procedió a ensamblar las mismas con los respectivos pernos.	
Impermeabilización.	Se lijó la estructura impresa en 3D es decir el casco y las boyas laterales, se pusieron 3 capas de fibra de vidrio con pegamento para finalmente pintarlo con antifouling ideal para embarcaciones, esto se realizó para darle la flotabilidad al prototipo.	

<p>Modelo 3D de las bandas.</p>	<p>Se realizó la impresión 3D de las bandas que generarán la corriente en fibra TPU por la gran flexibilidad que presenta.</p>	
<p>Modelo 3D de los soportes de los propulsores.</p>	<p>Se realizó la impresión 3D de los cuatro soportes de los motores en PETG ya que es un material más resistente.</p>	
<p>Mecanizado de ejes</p>	<p>En un torno se mecanizaron en acero inoxidable 4 ejes de los propulsores y 2 ejes de unión del casco con las boyas. Además, a los ejes se le supusieron una superficie de caucho de silicón para que tengan fricción en contacto con las bandas.</p>	
<p>Corte y doblado de la canastilla de almacenamiento.</p>	<p>Se cortó por láser según las dimensiones y se dobló para que esta esté según el modelo de SolidWorks.</p>	
<p>Montaje del sistema de recolección.</p>	<p>Se ensamblaron las boyas laterales, los ejes, las bandas del sistema de recolección incluyendo la canastilla donde se almacenarán los residuos.</p>	

<p>Montaje del sistema de propulsión.</p>	<p>En la parte posterior del casco se colocaron los soportes para montar los 4 propulsores.</p>	
<p>Incorporación de la parte electrónica</p>	<p>Se colocaron los sensores, placas del sistema de radio control, el sistema LoraWan con la tarjeta TTGO y el sistema FPV es decir la cámara y el receptor de las imágenes.</p>	
<p>Cableado</p>	<p>Una vez colocados todos los elementos se procedió a hacer las conexiones para la posterior programación de los elementos,</p>	
<p>Prototipo final</p>	<p>Se obtuvo el prototipo finalizado de acuerdo con el modelo establecido.</p>	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

4.1.1 *Análisis de costos*

Una vez construido el prototipo a escala se realizó un análisis de costos de este, para saber qué tan viable es construir este y de esta manera poder darnos una idea de los costos que tendrá la construcción del real, así podremos saber si el desarrollo de este entra dentro de los parámetros analizados en la casa de la calidad.

4.1.1.1 Prototipo a escala

Tabla 6-4: Análisis de costos prototipo a escala

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
600	Impresión 3D PLA	\$ 2.50	\$1500.00
32	Impresión 3D TPU	\$ 4.00	\$ 128.00
18	Impresión 3D PETG	\$ 3.00	\$ 54.00
1	Plancha de aluminio 240x800x1.5 mm	\$ 75.00	\$ 75.00
1	Barra de acero inoxidable ϕ 30mmx1m	\$ 30.00	\$ 30.00
2	Rodamientos SKF 46 mm	\$ 18.00	\$ 36.00
1	Impermeabilización	\$ 350.00	\$ 350.00
4	Motor sin escobillas 2.6 lb, 12 V	\$ 118.39	\$ 473.56
2	Tarjeta TTGO Meshtatic Tbeam	\$ 83.57	\$ 167.14
1	Servo ANNIMOS 132.3 lb, Digital 8.4 V	\$ 85.21	\$ 85.21
2	Batería LIPO 4S, 14.8 V	\$ 98.00	\$ 196.00
1	Arduino Nano	\$ 7.00	\$ 7.00
1	Radio Control	\$ 85.00	\$ 85.00
1	Sistema FPV	\$ 350.00	\$ 350.00
2	Sensores SHARF	\$ 12.00	\$ 24.00
2	Motores de bandas Pololu	\$ 35.00	\$ 70.00
1	Elementos de unión	\$ 50.00	\$ 50.00
1	Caucho de silicón	\$ 45.00	\$ 45.00
1	Servicio de corte y doblado, plancha de Al	\$ 110.00	\$ 110.00
1	Servicios de torno	\$ 50.00	\$ 50.00
5 m	Cable de control	\$ 1.80	\$ 9.00
1	Adicionales electrónicos	\$ 100.00	\$ 100.00
TOTAL			\$ 3994.91

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 3-4 se detallaron los costos directos e indirectos de los materiales que fueron utilizados para la construcción del prototipo a escala 1:2, en donde se tuvo una inversión \$3994.91 para tener el modelo 3D funcional con todas las características planteadas.

4.1.1.2 Prototipo real

Tabla 7-4: Análisis de costos prototipo a escala

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1200	Impresión 3D PLA	\$ 2.50	\$3000.00
32	Impresión 3D PETG	\$ 3.00	\$ 96.00

2	Bandas trasportadoras de caucho	\$ 50.00	\$ 100.00
1	Plancha de aluminio 240x800x1.5 mm	\$ 75.00	\$ 75.00
1	Barra de acero inoxidable ϕ 60mmx1m	\$ 40.00	\$ 40.00
2	Rodamientos SKF 46 mm	\$ 18.00	\$ 36.00
1	Impermeabilización	\$ 500.00	\$ 500.00
4	Motor sin escobillas 2.6 lb, 12 V	\$ 118.39	\$ 473.56
2	Tarjeta TTGO Meshtatic Tbeam	\$ 83.57	\$ 167.14
1	Servo ANNIMOS 132.3 lb, Digital 8.4 V	\$ 85.21	\$ 85.21
2	Batería Powerest 100 Ah	\$ 269.45	\$ 538.90
1	Arduino Nano	\$ 7.00	\$ 7.00
1	Radio Control	\$ 85.00	\$ 85.00
1	Sistema FPV	\$ 350.00	\$ 350.00
2	Sensores SHARF	\$ 12.00	\$ 24.00
2	Motores de bandas Pololu	\$ 35.00	\$ 70.00
1	Elementos de unión	\$ 75.00	\$ 75.00
1	Caucho de silicón	\$ 45.00	\$ 45.00
1	Servicio de corte y doblado, plancha de Al	\$ 110.00	\$ 110.00
1	Servicios de torno	\$ 50.00	\$ 50.00
10 m	Cable de control	\$ 1.80	\$ 18.00
1	Adicionales electrónicos	\$ 100.00	\$ 100.00
		TOTAL	\$ 6095.81

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 4-4 se detallan los costos con dimensiones reales del prototipo recolector de residuos flotantes en aguas lénticas, obteniendo un costo de \$ 6095.81, el cual está dentro de los parámetros y requerimientos obtenidos en la casa de la calidad.

4.2 Resultados del protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas fue realizado en la laguna Valle Hermoso ubicada en el cantón Guano donde se estudió el comportamiento del prototipo frente a las condiciones de operación establecidas.

Como se explicó en el apartado 3.8.2 el protocolo se dividió en cuatro fases para evaluar cada sistema de forma independiente obteniéndose los siguientes resultados:

4.2.1 Fase 1: El prototipo debe permanecer estático en el agua, sin carga y los sistemas de control activados.

Tabla 8-4: Pruebas del Sistema mecánico

Código		Operaciones	Actividades por desarrollar	Método	Inspector
OK	NA	Sistema estructural	Parámetros		Comentarios
X		Flotabilidad	Verificar que el prototipo mantenga una línea de flotación cercana a la esperada	Visual-Herramientas	Línea de flotación: Casco=7.7cm, Boyas=7cm
X		Hermeticidad	Verificar que no existan fugas de fluidos o daños al ambiente.	Visual	
X		Deformaciones	Medir las deformaciones producidas por la presión de fluido.	Herramientas	
OK	NA	Sistema Recolector	Parámetros		Comentarios
X		Funcionamiento	Verificar que el sistema opere correctamente.	Visual	
X			Verificar el ruido que emite el prototipo.	Auditivo	Bajo bandas en funcionamiento emiten ruido
X		Capacidad	Comprobar el volumen de carga disponible.	Herramientas	
	X	Arrastre de bandas	Verificar que las bandas generen una corriente de arrastre.	Visual	Generan muy poca corriente
X		Montaje y desmontaje	Comprobar la facilidad de colocar y quitar el sistema de almacenamiento.	Manual	
X		Autonomía	Medir el tiempo de funcionamiento del sistema sin aplicar cargas.	Herramientas	Promedio de 50 minutos por cada batería

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

Como se puede evidenciar en la Tabla 5-4, el sistema mecánico presentó resultados favorables siendo así que los ítems evaluados funcionaron en su mayoría de acuerdo con lo esperado sin embargo se presentaron las siguientes observaciones:

- Las líneas de flotación obtenidas para el casco y los brazos fueron de 7.7 cm y 7 cm respectivamente.
- El ruido emitido por el prototipo fue bajo y se debió a las bandas de arrastre lateral.
- Las bandas de arrastre lateral generaron corrientes débiles.
- La autonomía del prototipo para una sola carga fue de 50 minutos.

Tabla 9-4: Pruebas del Sistema electrónico.

Código		Operaciones	Actividades por desarrollar	Método	Inspector
OK	NA	Sistema electrónico	Parámetros		Comentarios
X		Radio Control	Los propulsores deben responder a las órdenes de mando básicas. (Izq. Der. Adelante, Atrás)	Manual	Reacción lenta al retroceder.
X		Telemetría	El prototipo debe mantener constante comunicación con el operador en tierra. (Cámara, ubicación.)	Herramientas	
X		Estados de carga	El prototipo debe notificar estados de carga al puesto en tierra	Visual	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la Tabla 6-4 se muestra el sistema electrónico el cual se comportó de forma correcta en esta fase del protocolo con la observación de que la reacción al movimiento hacia atrás se produjo con 10 segundos de retraso después de la acción de mando.

4.2.2 Fase 2: El prototipo debe moverse por el agua, sin carga y los sistemas de control activados.

Tabla 10-4: Pruebas del Sistema mecánico.

Código		Operaciones	Actividades por desarrollar	Método	Inspector
OK	NA	Sistema estructural	Parámetros		Comentarios
X		Flotabilidad	Verificar que el prototipo mantenga una línea de flotación cercana a la esperada	Visual- Herramientas	Línea de flotación: Casco=7.7cm, Boyas=7cm
X		Hermeticidad	Verificar que no existan fugas de fluidos o daños al ambiente.	Visual	
X		Deformaciones	Medir las deformaciones producidas por la presión de fluido.	Herramientas	
OK	NA	Sistema propulsor	Parámetros		Comentarios
X		Velocidad lineal	Medir la velocidad alcanzada por el prototipo.	Visual- Herramientas	Depende de la carga de batería: Batería Llena V=0,259 m/s; Batería 30% V=0,181 m/s
X		Velocidad angular	Medir la velocidad angular y capacidad de giro del prototipo.	Visual	w= 0,19 rad/s
OK	NA	Sistema Recolector	Parámetros		Comentarios

X		Funcionamiento	Verificar que el sistema opere correctamente.	Visual	
X			Verificar el ruido que emite el prototipo.	Auditivo	Bajo bandas en funcionamiento emiten ruido
	X	Arrastre de bandas	Verificar que las bandas generen una corriente de arrastre.	Visual	Generan muy poca corriente
X		Autonomía	Medir el tiempo de funcionamiento del sistema sin aplicar cargas.	Herramientas	Promedio de 30 minutos por cada batería

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

En la tabla 7-4 se muestra el sistema mecánico que presentó resultados favorables siendo así que los ítems evaluados funcionaron en su mayoría muy cercano a lo esperado presentándose las siguientes observaciones:

- Las líneas de flotación obtenidas para el casco y los brazos fueron de 7.7 cm y 7 cm respectivamente.
- La velocidad máxima alcanzada por el prototipo fue de 0.259 m/s.
- La velocidad angular máxima alcanzada por el prototipo fue de 0.19 rad/s
- El ruido emitido por el prototipo fue bajo y se debió a las bandas de arrastre lateral.
- Las bandas de arrastre lateral generaron corrientes débiles.
- La autonomía del prototipo para una sola carga fue de 30 minutos.

Tabla 11-4: Pruebas del Sistema electrónico.

Código		Operaciones	Actividades por desarrollar	Método	Inspector
OK	NA	Sistema electrónico	Parámetros		Comentarios
X		Radio Control	Los propulsores deben responder a las órdenes de mando básicas. (Izq. Der. Adelante, Atrás)	Manual	Lento
			Adelante		
			Atrás		
			Izquierda		
			Derecha		
X		Telemetría	El prototipo debe mantener constante comunicación con el operador en tierra. (Cámara, ubicación.)	Herramientas	
			Ubicación		
			Cámara		
X		Estados de carga	El prototipo debe notificar estados de carga al puesto en tierra	Visual	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

El sistema electrónico se detalla en la Tabla 8-4 que se comportó de forma correcta en esta fase del protocolo con la observación de que la reacción al movimiento hacia atrás se produjo de forma más lenta comparada con los otros movimientos, además la ubicación fue enviada en datos de longitud y latitud.

4.2.3 Fase 3: El prototipo debe moverse por el agua, recolectar residuos y los sistemas de control activados.

Tabla 12-4: Pruebas del Sistema mecánico.

Código		Operaciones	Actividades por desarrollar	Método	Inspector
OK	NA	Sistema estructural	Parámetros		Comentarios
X		Flotabilidad	Verificar que el prototipo mantenga una línea de flotación cercana a la esperada	Visual-Herramientas	Línea de flotación: Casco=8cm, Boyas=7cm
X		Hermeticidad	Verificar que no existan fugas de fluidos o daños al ambiente.	Visual	
X		Deformaciones	Medir las deformaciones producidas por la presión de fluido.	Herramientas	
OK	NA	Sistema propulsor	Parámetros		Comentarios
X		Velocidad lineal	Medir la velocidad alcanzada por el prototipo.	Visual-Herramientas	Depende de la carga de batería: Batería Llena V=0,259 m/s; Batería 30% V=0,181 m/s
X		Velocidad angular	Medir la velocidad angular y capacidad de giro del prototipo.	Visual	w= 0,19 rad/s
OK	NA	Sistema Recolector	Parámetros		Comentarios
X		Funcionamiento	Verificar que el sistema opere correctamente.	Visual	
X			Verificar el ruido que emite el prototipo.	Auditivo	Bajo bandas en funcionamiento emiten ruido
	X	Arrastre de bandas	Verificar que las bandas generen una corriente de arrastre.	Visual	Generan muy poca corriente
X		Autonomía	Medir el tiempo de funcionamiento del sistema sin aplicar cargas.	Herramientas	Promedio de 30 minutos por cada batería

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

El sistema mecánico se describe en la Tabla 9-4 presentando resultados favorables siendo así que los ítems evaluados funcionaron en su mayoría muy cercano a lo esperado presentándose las siguientes observaciones:

- Las líneas de flotación obtenidas para el casco y los brazos fueron de 8 cm y 7 cm respectivamente, evidenciando que no varían significativamente con respecto al estado sin carga.
- La velocidad máxima alcanzada por el prototipo fue de 0.259 m/s, notando que esta no depende cantidad de residuos recolectados sino del estado de carga de la batería.
- La velocidad angular máxima alcanzada por el prototipo fue de 0.19 rad/s
- El ruido emitido por el prototipo fue bajo y se debió a las bandas de arrastre lateral.
- Las bandas de arrastre lateral generaron corrientes débiles.
- La autonomía del prototipo para una sola carga fue de 30 minutos.

Tabla 13-4: Pruebas del Sistema electrónico.

Código		Operaciones	Actividades por desarrollar	Método	Inspector
OK	NA	Sistema electrónico	Parámetros		Comentarios
X		Radio Control	Los propulsores deben responder a las órdenes de mando básicas. (Izq. Der. Adelante, Atrás)	Adelante Atrás Izquierda Derecha	Manual Lento
X		Telemetría	El prototipo debe mantener constante comunicación con el operador en tierra. (Cámara, ubicación.)	Ubicación Cámara	Herramientas
X		Estados de carga	El prototipo debe notificar estados de carga al puesto en tierra	Visual	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

El sistema electrónico se comportó de forma correcta como se ve en la Tabla 10-4, en esta fase del protocolo respondiendo las ordenes de mando y envío de datos hasta una máxima distancia de prueba de 500 metros con la observación de que la reacción al movimiento hacia atrás se produjo de forma más lenta comparada con los otros movimientos.

4.2.4 Fase 4: El prototipo debe moverse por el agua con carga máxima y los sistemas de control activados.

Tabla 14-4: Pruebas del Sistema mecánico

Código		Operaciones	Actividades por desarrollar	Método	Inspector
OK	NA	Sistema estructural	Parámetros		Comentarios
X		Flotabilidad	Verificar que el prototipo mantenga una línea de flotación cercana a la esperada	Visual-Herramientas	Línea de flotación: Casco=8cm, Boyas=7cm
X		Hermeticidad	Verificar que no existan fugas de fluidos o daños al ambiente.	Visual	
X		Deformaciones	Medir las deformaciones producidas por la presión de fluido.	Herramientas	
OK	NA	Sistema propulsor	Parámetros		Comentarios
X		Velocidad lineal	Medir la velocidad alcanzada por el prototipo.	Visual-Herramientas	Depende de la carga de batería: Batería Llena V=0,259 m/s; Batería 30% V=0,181 m/s
X		Velocidad angular	Medir la velocidad angular y capacidad de giro del prototipo.	Visual	w= 0,19 rad/s
OK	NA	Sistema Recolector	Parámetros		Comentarios
X		Funcionamiento	Verificar que el sistema opere correctamente.	Visual	
X			Verificar el ruido que emite el prototipo.	Auditivo	Bajo bandas en funcionamiento emiten ruido
	X	Arrastre de bandas	Verificar que las bandas generen una corriente de arrastre.	Visual	Generan muy poca corriente
X		Autonomía	Medir el tiempo de funcionamiento del sistema sin aplicar cargas.	Herramientas	Promedio de 30 minutos por cada batería

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

El sistema mecánico presentó resultados favorables siendo así que los ítems evaluados funcionaron en su mayoría muy cercano a lo esperado presentándose las siguientes observaciones:

- Las líneas de flotación se mantuvieron constantes con respecto a la fase anterior, por lo tanto, no se ven influidas por la cantidad de residuos recolectados.
- La velocidad máxima alcanzada por el prototipo presentó los mismos valores medidos en la fase anterior, notando también que las condiciones de corrientes influyen significativamente en la trayectoria a seguir por el prototipo.
- La velocidad angular máxima alcanzada por el prototipo fue de 0.15 rad/s

- El ruido emitido por el prototipo fue bajo y se debió a las bandas de arrastre lateral.
- Las bandas de arrastre lateral generaron corrientes débiles.
- La autonomía del prototipo para una sola carga fue de 30 minutos.

Tabla 15-4: Pruebas del Sistema electrónico.

Código		Operaciones	Actividades por desarrollar	Método	Inspector
OK	NA	Sistema electrónico	Parámetros		Comentarios
X		Radio Control	Los propulsores deben responder a las órdenes de mando básicas. (Izq. Der. Adelante, Atrás)	Manual	Lento
			Adelante		
			Atrás		
			Izquierda		
			Derecha		
X		Telemetría	El prototipo debe mantener constante comunicación con el operador en tierra. (Cámara, ubicación.)	Herramientas	
			Ubicación		
			Cámara		
X		Estados de carga	El prototipo debe notificar estados de carga al puesto en tierra	Visual	

Realizado por: Tapia C, Merino L. 2022

El sistema electrónico se comportó de forma correcta en esta fase del protocolo respondiendo las ordenes de mando y envío de datos hasta una máxima distancia de prueba de 500 metros con la observación de que la reacción al movimiento hacia atrás se produjo de forma más lenta comparada con los otros movimientos.

CONCLUSIONES

- En este proyecto se diseñó y automatizó un prototipo que permita la recolección de residuos flotantes utilizando la metodología QFD para disminuir la contaminación ocasionada en aguas lénticas, de manera que fue dividido en 4 sistemas independientes para un mejor análisis y desarrollo, los cuales una vez ensamblados cumplieron con los requerimientos dados en el desarrollo de la casa de la calidad.
- Al realizar encuestas al personal que se encarga de la recolección de residuos flotantes en cuatro lagunas aledañas a la ciudad de Riobamba, se evidenció la magnitud del problema y se obtuvo información necesaria con respecto a costos, funcionalidad, diseño, capacidad operativa, seguridad y medio ambiente.
- El diseño del sistema recolector se realizó en base a dos bandas laterales en material resistente a la corrosión con el objetivo de generar un arrastre hacia la canastilla, elemento fundamental del sistema de almacenamiento la cual fue diseñada para almacenar un volumen de 0.3 m^3 en aluminio por su bajo peso, además se determinó que la estructura adecuada para soportar estos elementos es un doble casco en V por su estabilidad y capacidad de resistir altas cargas.
- El sistema de control propuesto fue desarrollado en tres subsistemas con propósitos definidos. Los datos de ubicación, almacenamiento y estado de carga de la batería se realizaron en base al protocolo de comunicación Lora WAN incluido en una tarjeta TTGO, la propulsión, maniobrabilidad y control ON/OFF de bandas mediante un radio control por último la detección de residuos se realizó con ayuda de la conexión FPV que permite ver en primera persona y tiempo real el recorrido del prototipo presentando así un comportamiento semiautomático.
- Con la construcción del prototipo a una escala 1:2 mediante impresión 3D e impermeabilizado con fibra de vidrio y al someterlo al protocolo de pruebas planteado, se demostró que el diseño es funcional tanto en su sistema mecánico como en el sistema de control, además sirvió para notar diferencias entre el diseño propuesto y el comportamiento final, siendo así que las líneas de flotación reales difieren de las calculadas, el sistema de recolección por bandas laterales no es el más óptimo y que la velocidad depende exclusivamente del estado de carga de las baterías sin que estas afecten significativamente al rendimiento general del prototipo.

RECOMENDACIONES

- El traslado y ubicación del prototipo hacia su ambiente de trabajo resultó una tarea ardua y cansada que afectan su integridad y de las personas que lo manipulan por lo que se recomienda desarrollar un mecanismo que permita realizar dicha tarea.
- Es recomendable seguir las instrucciones presentadas en el manual de usuario y no cambiar las condiciones de operación establecidas como lagos, lagunas o piscinas ya que los propulsores seleccionados no tienen la suficiente fuerza de empuje para vencer las corrientes de los ríos o la marea de los océanos.
- Se recomienda implementar un sistema que ayuden al movimiento de los brazos del prototipo para poder controlar que los residuos recogidos no salgan del área de recolección, además se puede cambiar el material de la canastilla de almacenamiento por acero inoxidable con el fin de aumentar su rigidez sin incrementar significativamente el peso que soporta el casco, aumentando de esta manera la eficiencia del sistema recolector y de almacenamiento.
- Como proyecto a futuro se podría implementar un algoritmo de mapeo, almacenamiento y reconocimiento de las coordenadas obtenidas con el sistema de navegación actual para así darle al prototipo autonomía completa.
- Una mejora significativa al control del prototipo sería el desarrollo de un algoritmo de detección y clasificación de los residuos recolectados ya sea cambiando la arquitectura del sistema actual o implementando un sistema más robusto que permita el uso de técnicas de visión artificial.

BIBLIOGRAFÍA

- AIRSTEP, C.** *Tipos y formas de casco de barcos*. 2018. [en línea]. [Consulta: 3 noviembre 2021]. Disponible en: <https://4sailnautica.com/tipos-y-formas-de-casco-de-barcos/>.
- ÁLVAREZ, R.** “*Mr. Trash Wheel*”, *la rueda con paneles solares que se ha comido más de 500 toneladas de basura*. 2017. [en línea]. [Consulta: de octubre 2021]. Disponible en: <https://www.xataka.com/ecologia-y-naturaleza/mr-trash-wheel-la-rueda-con-paneles-solares-que-se-ha-comido-mas-de-500-toneladas-de-basura>.
- ANDRADY, A.L.** *Microplastics in the marine environment*. August 2011.
- ANSYS.** *Ansys, Software de Simulación, Integral Innovation Experts*. 2020. [en línea]. [Consulta: 21 noviembre 2021]. Disponible en: <https://integralplm.com/ansys/>.
- ARDUINO.CC.** *Nano, Arduino Documentation, Arduino Documentation*. [en línea]. [Consulta: 6 marzo 2022]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>.
- AULAR, A.** *¿Qué son las aguas lénticas?* 2017. [en línea]. [Consulta: 19 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/aguas-lenticas/>.
- AUTOSOLAR.** *¿Cómo calcular la capacidad de las baterías?* 2021. [en línea]. [Consulta: 17 enero 2022]. Disponible en: <https://autosolar.es/blog/baterias-placas-solares/como-calcular-la-capacidad-de-las-baterias>.
- AVILÉS, E.** *Laguna de Colta - Geografía del Ecuador*. 2019. [en línea]. [Consulta: 22 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.encyclopediadelecuador.com/geografia-del-ecuador/laguna-de-colta/>.
- BORRELLE, S.B., et al.** “Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution” *Science*, vol. 369, n° 6509 (2020), ISSN 10959203. pp. 1515–1518.
- BUTELER, M.** “El problema del plástico” *¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos?*, vol. 16. (2019). ISSN 2618-5385. pp. 56-60.
- CASAS, J; REPULLO, J.R; & DONADO, J.** “La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos”. *Atención Primaria*. vol. 31, n°8 (2003). ISSN 02126567. pp. 527–538.
- CATSENSORS.** *Tecnología LoRA y LoRAWAN*. 2020. [en línea]. [Consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>.
- CONTRERAS, J.** *Diseño y construcción de un prototipo recolector de material plástico flotante en el agua*. [en línea]. Bogotá. 2014. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/36.
- CORONA, L.G; ABARCA, G.S; & MARES, J.** *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino*. Grupo Editorial Patria. 2016. ISBN 9786074389364.

- CORPORATION R&CH.** *MD-ACS71230A modulo sensor de corriente 30A ACS712.* 2021. [en línea]. [Consulta: 6 marzo 2022]. Disponible en: <https://electronicarych.com/shop/product/md-acs71230a-modulo-sensor-de-corriente-30a-acs712-13632?page=6&category=50>.
- DEBJANI.** *Complete information on Lentic and Lotic Aquatic Systems.* 2017. [en línea]. [Consulta: 3 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.preservearticles.com/articles/complete-information-on-lentic-and-lotic-aquatic-systems/21007>.
- DFKI GMBH & UNIVERSITY OF BREMEN.** “Autonomous aquadrone to remove floating plastics wastes in ports”. *German Research Center for Artificial Intelligence.* 2018.
- DIGI.** *¿Qué es XBee?* 2021. [en línea]. [Consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: <https://xbee.cl/que-es-xbee/>.
- ELÍAS, R.** “Mar del plástico: Una revisión del plástico en el mar.” *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero.* vol. 27. (2015) pp. 83–105.
- ELMO RIETSCHLE.** *Aplicaciones de vacío y aire comprimido, Industria de plásticos.* 2021. [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.gardnerdenver.com/es-ec/elmorietschle/industries/plastics>.
- ENVIROMENTAL MANGEMENT GROUP.** *¿Por qué los desechos orgánicos en el mar, afecta a todos los seres vivos?* *Enviromental Management Group.* 2020. [en línea]. [Consulta: 19 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.somosemg.com/publicaciones/articulos/por-que-los-desechos-organicos-en-el-mar-afecta-a-todos-los-seres-vivos>.
- FRITZ, Y.** *Redes de pesca ¿Cómo son y que tipos existen?* 2020. [en línea]. [Consulta: 6 diciembre 2021]. Disponible en: <https://espesca.com/redes-de-pesca/>.
- GAD MUNICIPAL GUANO.** *Laguna Valle Hermoso.* 2020. [en línea]. [Consulta: 22 noviembre 2021]. Disponible en: <https://visitaguano.com/es-ec/chimborazo/guano/lagunas/laguna-valle-hermoso-ah0ebd2dn>.
- GENERAL, R.,** *Interceptor Series Production to Start. The Ocean Cleanup.* 2020. [en línea]. [Consulta: 26 octubre 2021]. Disponible en: <https://theoceancleanup.com/updates/interceptor-series-production-to-start/>.
- GERR, D., 2001.** *The Propeller Handbook: The Complete Reference for Choosing Installing and Understanding Boast Propellers.* 1er. ISBN 978-0071381765. pp. 20-53.
- GREENPEACE.** *Plásticos. Greenpeace España.* 2016. [en línea]. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/>.
- GUERRERO, B.** *Esfuerzos en el casco.* Humboldt Marine Training. 2012. pp. 3-5.

- HILCU, M.** *Energía solar: Ventajas y desventajas*. 2021. [en línea]. [Consulta: 6 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.otovo.es/blog/energia/energia-solar-ventajas-y-desventajas/>.
- HOU, Y; & MENG, Q.** “Dynamic characteristics of conveyor belts”. *Journal of China University of Mining and Technology*, vol. 18, no. 4 (2008). ISSN 10061266. pp. 629–633.
- HUSAIN, B.** “Sistemas Autónomos”. *ABB*, vol. 3 (2019).
- IBARRA, B.** *Propulsión en barcos*. 2020. [en línea]. [Consulta: 3 noviembre 2021]. Disponible en: <http://fundicionesrice.com/assets/frontend/cartas/TNL111/TNL111esp.htm>.
- JAÉN, M; ESTEVE, P & BANOS-GONZÁLEZ, I.** “Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo”. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 16, n°. 1 (2019). ISSN 1697-011X. pp. 1–17.
- JIMA, S; SALVATIERRA, R & TERÁN, I.** “Diseño y Construcción de un Prototipo recolector de residuos marinos para el muelle de la ciudad de Manta”. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura “YAKU,”* vol. 2 (2019). ISSN 2600-5824. pp. 10-19.
- KIMBERLY-CLARK, M.** *Desarrollo de aplicaciones móviles*. 2021. [en línea]. [Consulta: 7 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Desarrollo-de-aplicaciones-moviles>.
- MALLA, J.A & SAMANIEGO, F.A.** *Desarrollo de un Protocolo de Pruebas de Funcionamiento para el Vehículo Fórmula SAE Eléctrico*. 2017. Cuenca.
- MANRIQUE, G.** *Ecuador lidera pacto mundial para luchar contra la basura marina- Ministerio del Ambiente y Transición Ecológica*. 2021. [en línea]. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-lidera-pacto-mundial-para-luchar-contra-la-basura-marina/>.
- MARKER, G.** *Pilas recargables*. 2018. [en línea]. [Consulta: 6 diciembre 2021]. Disponible en: <https://tecnologia-facil.com/que-es/pilas-recargables/>.
- MARTÍN, W.** *Maniobrabilidad de buques*. Lima. 2009. pp. 11-30.
- MATHWORKS.** *MATLAB Product Description - MATLAB & Simulink*. 2021. [en línea]. [Consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: https://www.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html.
- MINISTERIO DE TURISMO.** *El Parque Nacional Sangay abre sus puertas para sorprenderte con su naturaleza*. 2020. [en línea]. [Consulta: 22 November 2021]. Disponible en: <https://www.turismo.gob.ec/el-parque-nacional-sangay-abre-sus-puertas-para-sorprenderte-con-su-naturaleza/>.
- NAYLAMP.** *Sensor de distancia infrarrojo SHARP GP2Y0A21*. 2021. [en línea]. [Consulta: 6 March 2022]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/203-sensor-de-distancia-infrarrojo-sharp-gp2y0a21.html>.

- OLIVELLA, J.** *Teoría del buque: flotabilidad y estabilidad*. UPC. ISBN 9788483014752. 1995. pp. 17-30.
- ONNAUTIC.** *¿Cuáles son las partes de un barco?* 2020. [en línea]. [Consulta: 5 enero 2022]. Disponible en: <https://onnautic.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-barco/>.
- PÉREZ, M; PÉREZ, A & PÉREZ, E.** *Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo*. 2007.
- RIBA, C.** *Diseño concurrente*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya. ISBN 84-8301-598-6. 2002.
- RICCIO, G.** *WasteShark, el barco autónomo “come” desechos y contaminación del agua*. 2021 [en línea]. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <https://es.futuroprossimo.it/2021/04/wasteshark-la-barca-autonoma-mangia-rifiuti-e-inquinamento-acquatico/>.
- RODRÍGUEZ, J.** *Sistemas de propulsión y clasificación de buques*. 2015.
- RODRIGUEZ VIDAL, C.** *Diseño mecánico con SolidWorks*. RA-MA Editorial. ISBN 9788499645995. 2015.
- RUIZ, A. & ROJAS, F.** *Despliegue de la función calidad (QFD) Módulo 8*. Madrid. 2009. pp. 4-10.
- SADHWANI ALONSO, J.J.** *Gestión y tratamiento de residuos I*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica. España. ISBN 9788490422229. 2015.
- SALAZAR, J.** *Redes inalámbricas*. [en línea]. Disponible en: <http://www.techpedia.eu>.
- THE OCEANCLEANUP.** *The Ocean Cleanup Unveils Plan to Address the Main Source of Ocean Plastic Pollution: Rivers*. *The Ocean Cleanup*. 2019. [en línea]. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <https://theoceancleanup.com/updates/the-ocean-cleanup-unveils-plan-to-address-the-main-source-of-ocean-plastic-pollution-rivers/>.
- TIPPENS, P.** *Física, conceptos y aplicaciones*. Séptima. México: McGraw - Hill. ISBN 978-0-07-301267-X. 2011.
- TORTERAT, C.** *Propulsión por chorro de agua: no hay arrastre de la hélice en el agua*. 2019. [en línea]. [Consulta: 3 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.boatsnews.es/noticias/25093/propulsion-por-chorro-de-agua-no-hay-arrastre-de-la-helice-en-el-agua>.
- TREACY, M.** *This Solar Water Wheel Could Be the Solution to Plastic Ocean Debris*. 2018. [en línea]. [Consulta: 27 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.treehugger.com/solar-water-wheel-could-be-solution-plastic-ocean-debris-4855316>.
- UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.** *Labview*. 2019.[en línea]. [Consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: <https://sdei.unican.es/Paginas/servicios/software/Labview.aspx>.

VISTRONICA SA. *Convertidor DC-DC Buck LM2596 3A.* 2021. [en línea]. [Consulta: 6 March 2022]. Disponible en: <https://www.vistronica.com/fuente-de-voltaje/conversores-dc-dc/convertidor-dc-dc-buck-lm2596-detail.html>.

VITE, L. *Principio de Arquímedes. Vida Científica.* 2014. [en línea] [Consulta: 26 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/m4.html>.

ZAPATA, F. *Principio de Arquímedes: fórmula, demostración, aplicaciones.* 2019. [en línea]. [Consulta: 5 enero 2022]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/principio-de-arquimedes/>.

ANEXOS

ANEXO A: Encuesta – Voz del cliente



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



ENCUESTA

Saludos, somos un grupo de tesis de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y solicitamos muy comedidamente nos permita recolectar información para el estudio y diseño de un “Recolector de Residuos Flotantes en Aguas Lénticas”.

Los datos ingresados en la siguiente encuesta serán de uso específicamente para el desarrollo conceptual del prototipo, los datos personales serán de responsabilidad del equipo investigador.

Nombre y apellidos: _____

Ocupación: _____ Lugar: _____

Fecha: _____

Marque con una X la opción que considere más acorde a su opinión.

¿Esta laguna tiene un plan de recolección de residuos flotantes?

Si No

¿Qué método de recolección utiliza?

Manual Semiautomático Automático

¿Con que frecuencia se realiza la recolección de estos residuos?

Diario Semanal Quincenal Mensual

¿Qué cantidad de residuos flotantes se recoge en esta laguna?

Menos de 10kg Más de 10kg Más de 50kg Más de 100kg

¿Le gustaría tener un equipo que sirva para recolección de residuos flotantes en lagunas?

Si No

Marque con una X la puntuación que considere más acorde a su opinión donde (1 No necesario, 2 Poco necesario, 3 Necesario, 4 Importante, 5 Muy importante). Además, marque con un (✓) las características por las cuales podría adquirir el prototipo.

COSTOS	1	2	3	4	5	✓
Bajo costo de fabricación y operación						
Bajo costo de mantenimiento						



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FUNCIONALIDAD						
	1	2	3	4	5	✓
Que sea capaz de recoger desechos flotantes						
Autonomía						
Velocidad de recolección						
Maniobrabilidad						
Capacidad de trabajar en la noche						
Fácil de controlar						
Facilidad de montaje y desmontaje						
Facilidad para implementar accesorios						
Trasmisión de imágenes en tiempo real						
Comentarios						

DISEÑO						
	1	2	3	4	5	✓
Geometría del prototipo						
Dimensiones del prototipo						
Peso ligero						
Materiales						
Estético						
Comentarios						

CAPACIDAD OPERATIVA						
	1	2	3	4	5	✓
Capacidad de recolección						
Tiempo de servicio						
Conocer la ubicación en tiempo real						
Capaz de operar a largas distancias						
Clasificación entre residuos orgánicos e inorgánicos						
Comentarios						

SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE						
	1	2	3	4	5	✓
Alertas de operación						
Envíe informe del estado de recolección						
Evitar contaminación del agua						
Silencioso						
Uso de energía limpia						
Que cuente con un manual de Operación						

ANEXO C: Propiedades del agua

TABLA A-3

Propiedades del agua saturada

Temp. T, °C	Presión de saturación P _{sat} , kPa	Densidad ρ, kg/m ³		Entalpía de vaporización h _{fg} , kJ/kg	Calor específico c _p , J/kg · K		Conductividad térmica k, W/m · K		Viscosidad dinámica μ, kg/m · s		Número de Prandtl Pr		Coeficiente de expansión volumétrica β, 1/K Líquido
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁶	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁶	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁶	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4186	1863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁶	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁶	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁶	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁶	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁶	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁶	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁶	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁶	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁶	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁶	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁶	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁶	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁶	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁶	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁶	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	963.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁶	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁶	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁶	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁶	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁶	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁶	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.366 × 10 ⁻⁶	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁶	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁶	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁶	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁶	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁶	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁶	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁶	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁶	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁶	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁶	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁶	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁶	1.00	1.97	
340	14,986	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁶	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁶	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁶			

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las temperaturas 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas del punto triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades citadas anteriormente (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cerca del valor de punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C para calor específico es equivalente kJ/kg · K, y la unidad W/m · °C para conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de viscosidad y conductividad térmica están tomados de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

ANEXO D: Concentradores de esfuerzo

Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_{\theta} = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

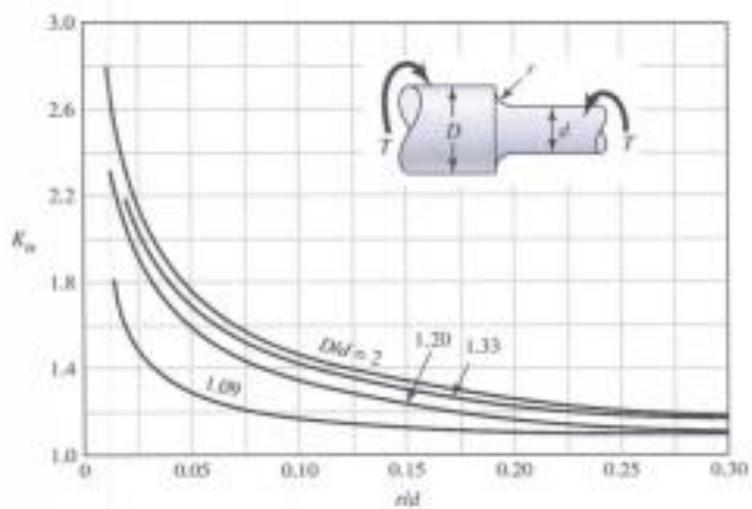
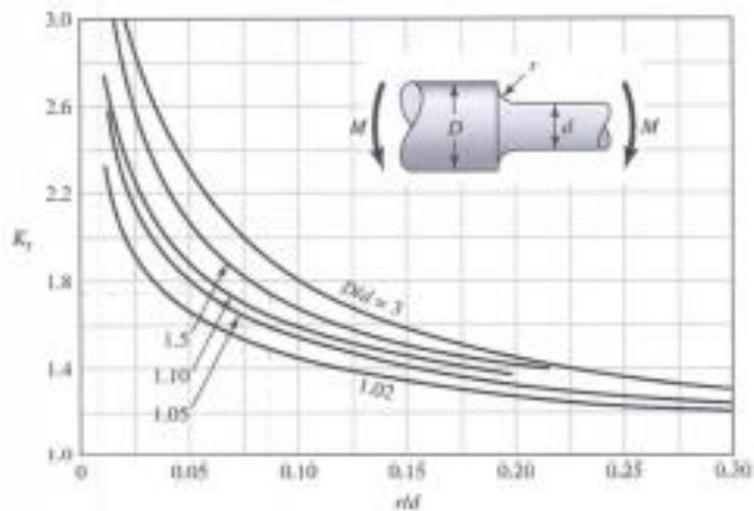


Figura A-15-9

Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ e $I = \pi d^4/64$.

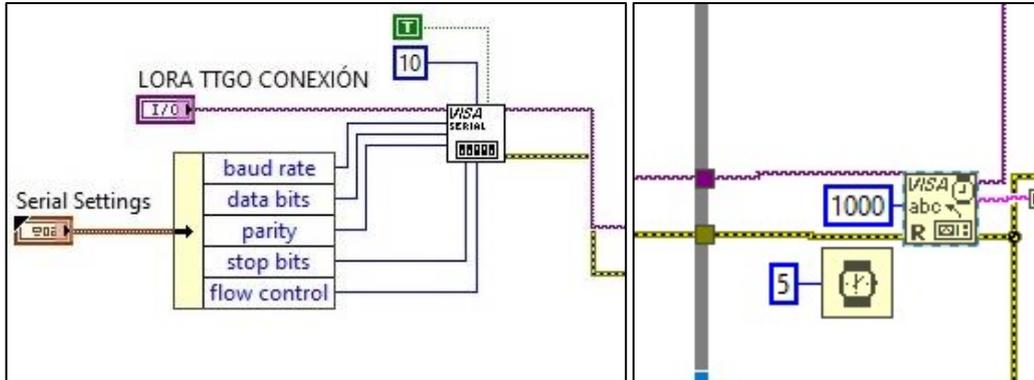


ANEXO E: Diámetros de pernos

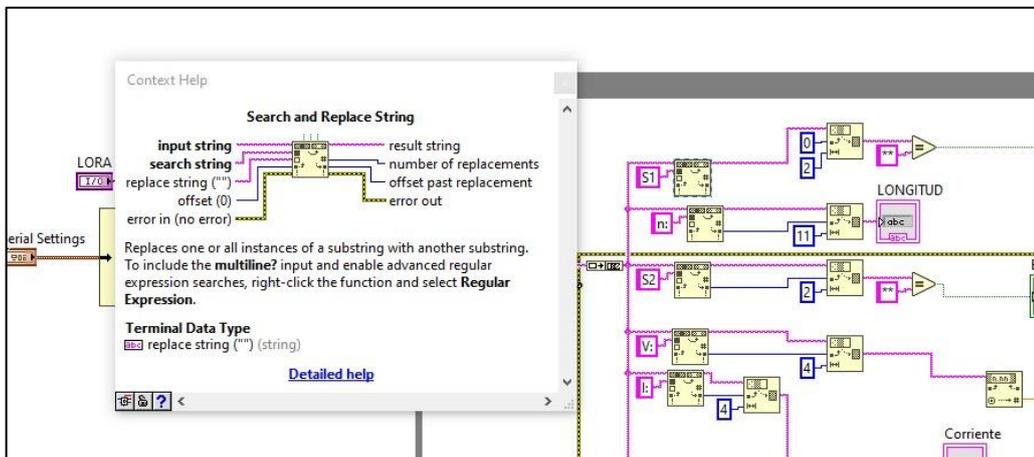
Tabla 8-1
Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

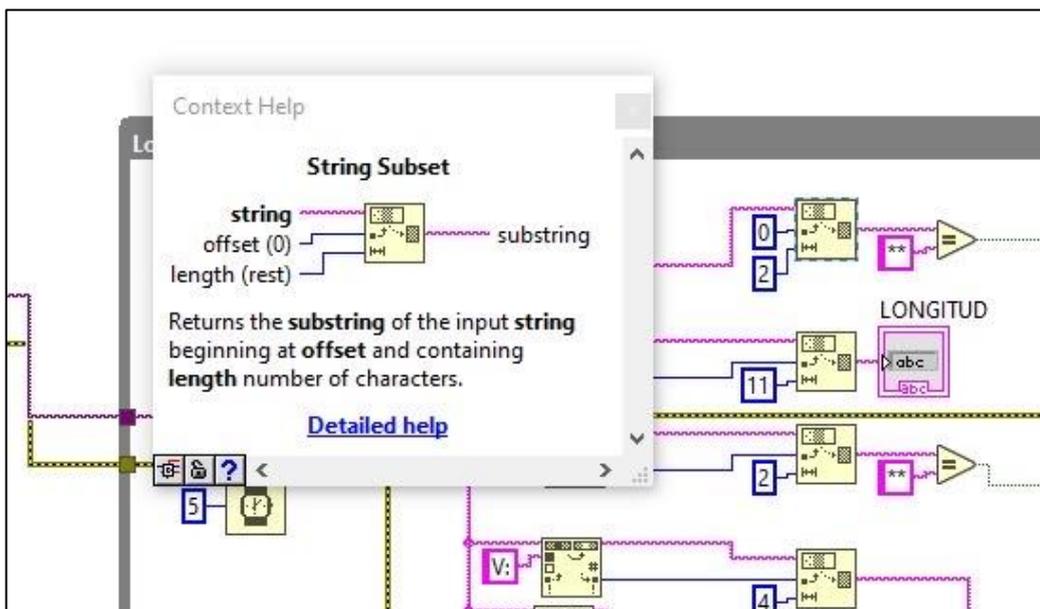
ANEXO F: Interfaz de usuario en LabVIEW



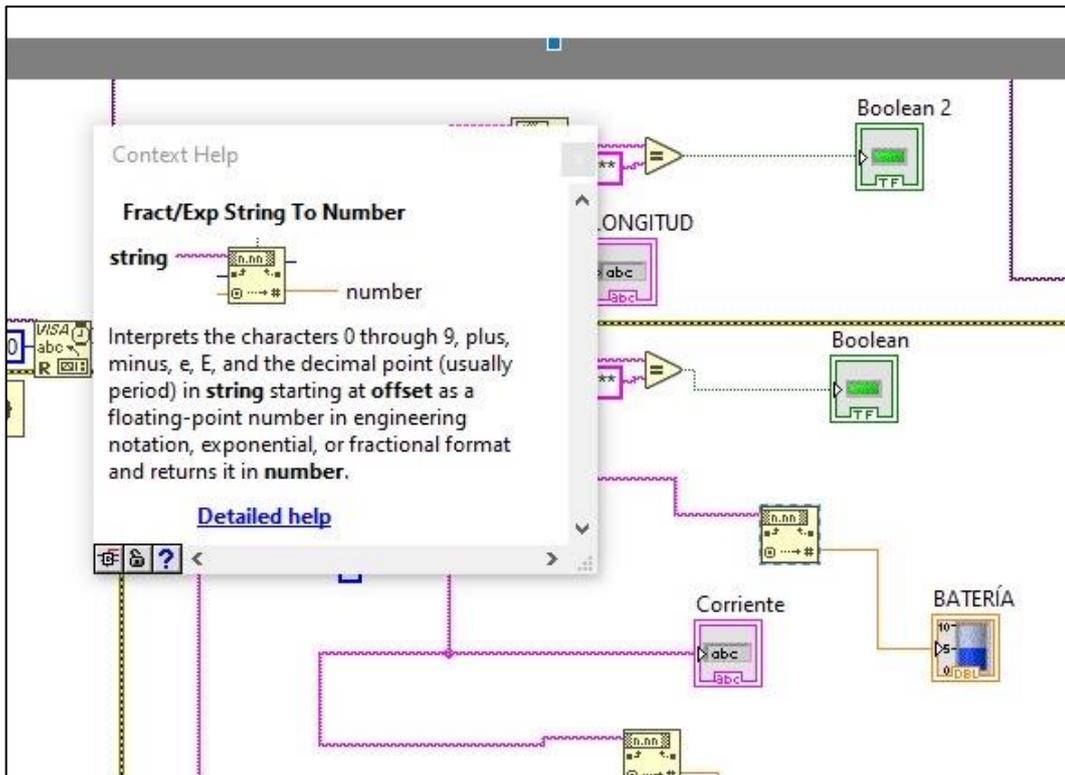
Inicialización y lectura de la comunicación serial.



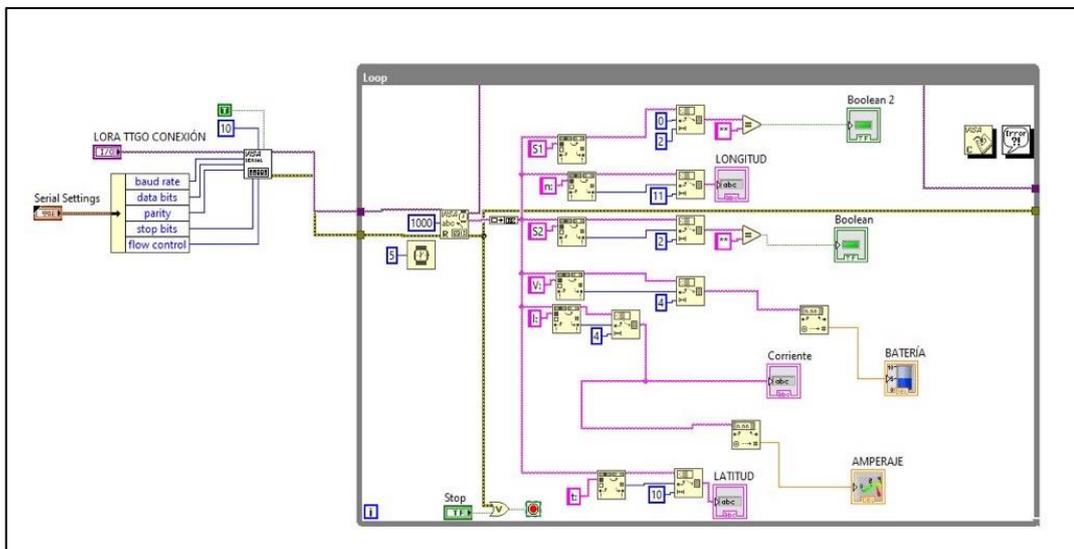
Buscar la cabecera.



Escoger solo parte del valor.



Convertir el valor a número



Conexión final



Interfaz de usuario