

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño e implementación de un limpiador autónomo de superficie de
piscina

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros en Mecatrónica

Presentado por:

Brandon Andrés Lazo Ramírez

Milena Sylvana Chiquito Molina

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mis padres por apoyarme en mi carrera y han sido un pilar fundamental. A mi hermana por ser un apoyo incondicional, a Nathaly, Pedro y Lissette por estar durante todos estos años en los buenos y malos momentos y a mi tío por aconsejarme en estos últimos años.

Brandon Andrés Lazo Ramírez

Este trabajo se lo dedico a mi familia, que me ha acompañado a lo largo de toda la carrera y ha sido mi base para completar de manera satisfactoria este nivel de estudio. A mis amigos y amigas por todos los momentos divertidos que compartimos estos últimos 5 años y el apoyo que me han brindado para no rendirme.

Milena Sylvana Chiquito Molina

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi papá Luis, a mi mamá Teresa y a mi hermana Erika por su apoyo, motivación, por enseñarme valores y dándome consejos para tomar buenas decisiones, además agradezco a Dios por haberme guiado por el buen camino. Agradezco a Milena y a mis profesores por sus enseñanzas que me han ayudado a lo largo de mi carrera universitaria.

Brandon Andrés Lazo Ramírez

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle a mi mamá, papá, hermanas, amigos y amigas por su apoyo en todas las actividades que he realizado desde pequeña, por permanecer tanto para momentos de alegría como de cansancio y por las experiencias compartidas que me han permitido ser la persona que soy hoy. A mis profesores y profesoras, que me han guiado de manera personal y profesional, porque sus consejos me han servido de motivación en esta última etapa de mi vida universitaria.

Milena Sylvana Chiquito Molina

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Brandon Andrés Lazo Ramírez* y *Milena Sylvana Chiquito Molina* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

*BRANDON
LAZO R*

Brandon Andrés Lazo Ramírez

Milena Chiquito

Milena Sylvana Chiquito Molina

EVALUADORES

Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA

Jorge Luis Hurel Ezeta, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el ámbito de la limpieza se están implementando robots domésticos y este mercado se encuentra en gran crecimiento. En la actualidad, el proceso de limpieza superficial de una piscina doméstica requiere de un operario que manipule una red limpiadora de piscina, este puede ser un residente habitual o un trabajador que cobra por sus servicios de limpieza y su objetivo es recoger las impurezas superficiales como insectos, hojas y polvo. Con el fin de reducir el tiempo dedicado a la limpieza constante de la superficie de una piscina doméstica, se diseñó vehículo rentable con operación autónoma y manual que realice dicho proceso.

Para ello, se realizó el diseño del chasis del vehículo y su respectivo análisis mecánico con el software Autodesk Inventor Professional 2021. En la selección de materiales se consideró la norma IP-57 y NEMA 6, por lo que se utilizó el filamento PLA de impresión 3D. Por otro lado, el sistema electrónico consta de sensores ultrasónicos, motores DC y un módulo NodeMCU ESP32s que procesa la información para activar los actuadores según el modo de operación, en el modo manual se conecta de manera inalámbrica a la plataforma *IoT* Ubidots.

Se realizaron validaciones de diseño con un prototipo de menor escala, comprobando con éxito los resultados del análisis de flotabilidad, estabilidad, tiempo de operación, algoritmos de evasión de bordes y conexión con la plataforma *IoT*.

En conclusión, el diseño consigue recoger impurezas superficiales en una piscina, de manera autónoma o manual, según lo requiera el usuario.

Palabras Clave: Limpiador de piscina, robot doméstico, vehículo superficial no tripulado, sistema *IoT*.

ABSTRACT

Domestic robots are being implemented in the field of cleaning and this market is growing rapidly. Currently, the superficial cleaning process of a domestic pool requires an operator who handles a pool skimmer net. This can be a household member, a tenant or a worker who charges for his cleaning services. Its objective is to collect impurities laying on the surface such as insects, leaves, and dust. In order to reduce the time dedicated to the constant cleaning of the pool's surface, a profitable vehicle with autonomous and manual operation was designed to carry out this process.

For this, the design of the vehicle chassis and its respective mechanical analysis were carried out with the Autodesk Inventor Professional 2021 software. For the material selection, the IP-57 and NEMA 6 standards were considered, so the PLA 3D printing filament was used. On the other hand, the electronic system consists of ultrasonic sensors, DC motors, and a NodeMCU ESP32s module that processes the information to activate the actuators according to the operation mode, in manual mode it connects wirelessly to the Ubidors IoT platform.

Also, design validations were carried out with a smaller-scale prototype, verifying the results of the analysis of buoyancy, stability, operating time, edge avoidance algorithms, and connection to the IoT platform.

Keywords: *Pool cleaner, home robot, unmanned surface vehicle, IoT system.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1 Redes para la limpieza de piscinas	5
1.4.2 Drones.....	6
1.4.3 Drones acuáticos.....	8
1.4.4 Estado del arte	10
CAPÍTULO 2	
2. Metodología.....	13
2.1 Alternativas de solución	13
2.1.1 Alternativa 1	13
2.1.2 Alternativa 2	13
2.1.3 Alternativa 3	14
2.2 Proceso de Diseño	16
2.3 Requerimientos de diseño.....	17
2.4 Diseño conceptual	18

2.5	Diseño mecánico	20
2.5.1	Selección de material de impresión	20
2.5.2	Sistema de recolección de desperdicios	20
2.5.3	Ruedas de avance del vehículo	23
2.5.4	Cálculos de flotabilidad y estabilidad	26
2.6	Diseño electrónico	31
2.6.1	Selección de motor y sensor	31
2.6.2	Consumo energético	33
2.6.3	Selección de fuente de poder	34
2.7	Diseño de plataforma de control	35
CAPÍTULO 3		
3.	Resultados y análisis	39
3.1	Diseño mecánico	39
3.2	Diseño electrónico	43
3.3	Implementación	45
3.4	Análisis de Costos	47
CAPÍTULO 4		
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	49
4.1	Conclusiones	49
4.2	Recomendaciones.....	50
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
AGMA	American Gear Manufacturers Association
ASV	Autonomous Superficial Vehicle
CAD	Computer-Aided Design
DC	Corriente Directa
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IoT	Internet of Things
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
PLA	Ácido Poliláctico
RPM	Revoluciones Por Minuto
USV	Unmanned Superficial Vehicle

SIMBOLOGÍA

m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
mm ³	Milímetro cúbico
mm ⁴	Milímetro a la cuarta
rad	Radián
rev	Revolución
s	Segundo
kg	Kilogramo
V	Voltio
A	Amperio
Ah	Amperios hora
mAh	Miliamperios hora
mW	Milivatio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación de una piscina doméstica	1
Figura 1.2 Piscina doméstica de bordes curvos	2
Figura 1.3 Mancha verde en una piscina doméstica	2
Figura 1.4 Mala postura al limpiar piscina	3
Figura 1.5 Partes de una red para limpiar piscina	6
Figura 1.6 Dron aéreo de tipo Cuadricóptero	7
Figura 1.7 Dron aéreo de tipo ala fija	7
Figura 1.8 Dron de tipo terrestre	8
Figura 1.9 Dron acuático controlado remotamente	8
Figura 1.10 GLADIUS MINI, la segunda generación de drones submarinos	9
Figura 1.11 Recolector de desechos acuáticos	10
Figura 1.12 Razer y Clearbot Robot	11
Figura 1.13 Movimientos de robot con accionamiento diferencial	11
Figura 1.14 Robot aspirador	12
Figura 2.1 Diagrama de Alternativa 1	13
Figura 2.2 Diagrama de Alternativa 2	14
Figura 2.3 Diagrama de Alternativa 3	14
Figura 2.4 Diagrama de flujo del proceso de diseño	17
Figura 2.5 Diseño conceptual de la solución	19
Figura 2.6 Piñón reductor de velocidad	21
Figura 2.7 Engranaje conducido	21
Figura 2.8 a) Alabes hidráulicos b) Rueda hidráulica de alimentación inferior	23
Figura 2.9 Volumen sumergido de la rueda	24
Figura 2.10 Área del álabe que hace contacto con el agua	25
Figura 2.11 Nuevo sólido para cálculo de flotabilidad	27
Figura 2.12 Línea de flotabilidad del vehículo	27
Figura 2.13 Propiedades físicas del nuevo sólido	27
Figura 2.14 Vista transversal de la caja principal	29
Figura 2.15 Vista longitudinal de la caja principal	30
Figura 2.16 Motorreductor	32
Figura 2.17 Ultrasonico HC SR04	32
Figura 2.18 Batería 12 V 4Ah	34

Figura 2.19 Ubidots en dispositivo móvil	36
Figura 2.20 Dashboard del Collect Boat	37
Figura 2.21 Interfaz del control del vehículo	38
Figura 3.1 Diseño final del Robot limpiador de superficie de piscina	39
Figura 3.2 Línea de flotabilidad y estabilidad con el peso de la batería	40
Figura 3.3 Cálculo de la masa necesaria para equilibrar flotabilidad	40
Figura 3.4 Línea de flotabilidad y equilibrio del vehículo.....	41
Figura 3.5 Línea de flotabilidad y equilibrio del vehículo vista lateral.....	41
Figura 3.6 Engranaje con rodillo a lo largo del eje	42
Figura 3.7 Validación del comportamiento de la banda transportadora	42
Figura 3.8 Esquema general de conexiones de hardware.....	43
Figura 3.9 Validación de conexión con la plataforma IoT.	44
Figura 3.10 Validación de función Callback.....	45
Figura 3.11 Avance del vehículo en la piscina a diferentes tiempos t.	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Criterios de selección	15
Tabla 2.2 Matriz de decisión de alternativas de solución.....	16
Tabla 2.3 Requerimientos de diseño definidos.....	18
Tabla 2.4 Datos del tren de engranajes.....	22
Tabla 2.5 Coordenadas del centro de gravedad y flotabilidad con su marco referencial	28
Tabla 2.6 Momentos de inercia del limpiador	28
Tabla 2.7 Consumo energético de componentes.....	33
Tabla 2.8 Voltajes de entrada y salida del LM2596.....	35
Tabla 3.1 Timpos de recorrido	47
Tabla 3.2 Descripción de costos para la construcción e implementación del limpiador.	48

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología cada vez es más utilizada para facilitar los trabajos domésticos, a través de un control automático o del uso de sistemas de comunicación amigables entre dispositivos del hogar [1]. A este conjunto de tecnologías de automatización se lo denomina Domótica.

En el ámbito de la limpieza se implementan actualmente robots domésticos, que se consideran lujosos por su alto costo. Sin embargo, los robots limpiadores de piscinas, al emplear mecanismos sencillos para su avance y filtración de impurezas, se pueden diseñar e implementar a un menor precio. Adicionalmente, el objetivo de su sistema de navegación es evitar colisiones utilizando sensores de detección de obstáculos, como las paredes, de esta manera se puede redireccionar la trayectoria de la máquina, combinando movimientos rectos y curvos [2].

Por otra parte, la ubicación de la piscina es en orientación sur de la vivienda, en patios donde existen árboles ya sean de solo flores o de frutos, permitiendo que se tenga un ambiente más fresco en la piscina. Pero a su vez, estos árboles traen consigo desperdicios ya que en la tierra o ramas habitan insectos, que se desprenden y pueden caer en la piscina [3].



Figura 1.1 Ubicación de una piscina doméstica [3]

Los tamaños más comunes de una piscina doméstica de forma rectangular son de 6x3 metros o de 7x4 metros, es decir, 18m² o 28m² respectivamente. Además de piscinas rectangulares, existen piscinas con ángulos redondeados o de múltiples formas que se adaptan en los jardines de las casas [4].



Figura 1.2 Piscina doméstica de bordes curvos [3]

Como toda área de una casa, la piscina también debe ser limpiada. La acumulación de sustancias en su superficie puede afectar a la salud humana al momento de hacer uso de la piscina. Además, al llenarla, esta suciedad se acumula en el agua.

1.1 Descripción del problema

Si en la superficie de una piscina se deja acumular restos durante mucho tiempo, empezarán a formarse manchas en la superficie de la piscina. Por ejemplo, se pueden formar manchas verdes y/o marrones, por la caída de hojas de los árboles, suciedad, polvo, insectos, algas y gusanos. De igual manera, se forman manchas rojas y/o azules, por la caída de frutos rojos como fresas, arándanos en la piscina [5].



Figura 1.3 Mancha verde en una piscina doméstica [6]

A pesar de que existen recogedores de basuras manuales para las piscinas, que tienen una canasta para almacenar los desperdicios, no suelen ser eficientes. Cuando las piscinas domésticas son de medidas

considerablemente grandes, estos recogedores no suelen ser suficientes para llegar a cubrir toda la superficie de la piscina.

Otro punto para considerar es la postura de la persona al momento de limpiar la piscina. Para utilizar los limpiadores tradicionales, se debe estar con el torso inclinado, causando a largo plazo, traumatismos en los brazos, piernas, manos y espalda, ya que debe cargar el limpiador y el peso de la canasta.



Figura 1.4 Mala postura al limpiar piscina [7]

El tiempo que conlleva que una persona limpie la superficie de una piscina manualmente, considerando las veces que se llena la piscina de los desperdicios como hojas de árboles, insectos, frutas, semillas de las flores y polvo, se vuelve una actividad monótona. Por lo tanto, este proyecto se enfoca en mejorar el proceso de limpieza superficial.

1.2 Justificación del problema

Este proyecto tiene como finalidad, brindar una solución eficiente en el limpiado superficial de una piscina de casa. De esta forma se pretende evitar los dueños entrar en fatiga o cansancio al tener que limpiarlas, sino también ahorrar tiempo y poder hacerlo de manera frecuente.

Existen limpiadores de piscinas autónomos que permiten la limpieza tanto superficial como en la profundidad. Asimismo, hay robots acuáticos de gran tamaño que limpian piscinas de medidas extensas hasta océanos, los cuales cargan toneladas de residuos existentes en la superficie. Sin embargo, a pesar de que existe este tipo de dron acuático, sus costos son elevados

dependiendo del modelo, la funcionalidad y son pocos los distribuidores en el país que destacan en la venta de este de producto.

En consecuencia, este proyecto propone un vehículo no tripulado que sea de dimensiones menores, con la capacidad de almacenar todo tipo de residuo existente en la superficie de la piscina, a un menor costo de venta, beneficiando a los dueños de piscinas domésticas y cumpliendo con normas de protección contra polvo y agua para su sistema de control. Es decir que se propone la implementación de un mecanismo que recoja los residuos y un algoritmo que lo vuelva autónomo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un vehículo no tripulado de control autónomo y manual para la limpieza superficial de una piscina con el uso de tecnologías disponibles como la impresión 3D y plataformas de desarrollo de libre acceso.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar el chasis del vehículo no tripulado capaz de flotar a través del respectivo modelo mecánico y análisis de estabilidad.
2. Seleccionar actuadores que permitan las operaciones de avance y recolección, mediante la identificación de los requerimientos del sistema.
3. Programar un algoritmo para el control autónomo que le permita al vehículo recorrer toda la superficie de una piscina rectangular estándar con una trayectoria predefinida.
4. Implementar un sistema embebido que proporcione el control remoto de la máquina utilizando sensores y actuadores.

1.4 Marco teórico

Cuando se habla de limpieza de una piscina, por lo general se hace referencia a la red que recoge todos los desechos sólidos que existen en la superficie de la piscina, por lo que es importante mencionar este método de limpieza que, aunque no sea tan eficiente, rápido y puede perjudicar a la persona encargada a largo plazo debido a su postura, es un principio base sobre el cual se desarrollará el proyecto.

1.4.1 Redes para la limpieza de piscinas

Las redes para piscinas varían según la necesidad. El diseño general consta de una malla fina de plástico, que junto a una barra larga, permite el movimiento en el agua con facilidad, haciendo que sea ligera al momento de agarrarla por el mango de la red, para filtrar impurezas como la broza, los insectos y partículas pequeñas.

A continuación, se van a describir cuatro diferentes tipos de redes limpiadoras de piscina que cumplen el mismo propósito de recolección de basura superficial (Figura 1.5):

- Red de barra telescópica, su característica principal es el mango ajustable que permite un mayor alcance para la persona que la usa, por lo que es recomendada para la limpieza de piscinas grandes.
- Redes planas, a diferencia del resto, estas tienen marcos plásticos más grandes y sostienen una fina malla ajustada para que se encuentre completamente plana, facilitando la recolección de impurezas cercanas a la superficie.
- Red con bordes curvos, esta red consta de un marco circular que facilita la limpieza en piscinas no rectangulares, de esta manera no raya o daña sus paredes.
- Red de alta calidad, esta última incluye una red resistente de aleación de aluminio y un marco curvo como protección para la piscina [8].



Figura 1.5 Partes de una red para limpiar piscina

1.4.2 Drones

El sector de los drones ha tenido un avance en la vida cotidiana, existen diversos modelos en internet, desde uso profesional hasta para ocio. Estos drones no solamente sirven para hacerlos volar, también sirven para captar imágenes, videos, uso de limpieza, uso militar, dependiendo del control y medio en el que se mueven. A un drone o dron se lo conoce como Vehículo aéreo no tripulado ya que es un vehículo que se mueve sin tripulantes, controlados por operarios de manera remota o se movilizan autónomamente.

Inicialmente los drones fueron diseñados para volar, es decir, drones aéreos impulsados por un motor eléctrico, pero con el pasar del tiempo, se han desarrollados drones terrestres y acuáticos [9].

En lo que respecta a drones aéreos, hay drones de uso civil, estos son utilizados para explorar terrenos o espacios inaccesibles, aquí se divide la categoría de drones de uso infantil, son de menor tamaño, fácil manejo y de bajo costo; los drones amateurs que son de uso para personas adultas experimentadas en el manejo de este tipo de vehículos, son de elevado costo ya que cuenta con más sensores, motores de mayor potencia, material de calidad y los drones profesionales, los cuales tienen mayor rango de vuelo, mayores velocidades y cuentan con GPS para poder

monitorear su navegación de manera continua en tiempo real. Estos drones aéreos se clasifican según su tipo de ala, los de Ala rotatoria, estos se dividen en Tricópteros, Cuadricópteros, Hexacópteros y Octacópteros [9].



Figura 1.6 Dron aéreo de tipo Cuadricóptero

Los de Ala fija que son aquellos con una aerodinámica que les permite aprovechar las corrientes de aire y así mantener su trayectoria, al mantenerse flotando en el aire, utilizan una sola batería, pero al no tener rotores como los de ala rotatoria, no pueden hacer el impulso o el aterrizaje autónomamente, requieren de un operario que lo haga de manera remota [10].



Figura 1.7 Dron aéreo de tipo ala fija

Los drones terrestres tienen el mismo objetivo de los demás tipos, con la diferencia que se adaptan a cualquier tipo de terreno. Estos equipos se utilizan para explorar áreas en donde el ser humano no puede llegar o en zonas de alto riesgo que pondría en peligro la vida de la persona que opera este vehículo no tripulado [9].



Figura 1.8 Dron de tipo terrestre

1.4.3 Drones acuáticos

Los drones más conocidos son los aéreos, los cuales se utilizan para distintas aplicaciones profesionales, pero existe un tipo de dron menos conocido pero que poco a poco se está expandiendo en el mercado, estos son los drones acuáticos; en la actualidad son similares a un submarino no tripulado de pequeña escala que funciona autónomamente, esos modelos funcionan con baterías, cuentan con un diseño compacto y material resistente al agua salada del mar [11].

Los drones acuáticos en su mayoría tienen dos tipos de control, autónomo y remoto, es decir, el operario controla la dirección, además estos drones poseen cámaras las cuales toman imágenes para su respectivo reconocimiento de objetos. Otros modelos se conducen mediante un sistema de cableado o cuerda que los guía para realizar trabajos específicos [11].



Figura 1.9 Dron acuático controlado remotamente

1.4.3.1 Dron submarino

Los drones submarinos son aquellos que se mueven bajo el agua, también conocidos como sumergibles son capaces de bucear a varios metros sobre el nivel del mar. Algunos de estos modelos utilizan tecnologías de propulsión como el hidrógeno renovable, cuyas fuentes son la energía eólica y biomasa; sin embargo, la mayoría de los vehículos sumergibles se alimentan por baterías que tienen larga duración. Los usos más comunes para estos vehículos son: la fotografía subacuática puesto que llegan a lugares profundos e inhóspitos donde el ser humano no ha llegado, el control de flora y fauna en el fondo marino, además de la toma de muestras y control de contaminación [11].



Figura 1.10 GLADIUS MINI, la segunda generación de drones submarinos [12]

1.4.3.2 Dron acuático de superficie

Los drones acuáticos de superficies son capaces de navegar en la superficie del agua, en sus características, cuenta con material impermeable, para que no filtre el agua y no dañe sus componentes eléctricos, además de tener características resistentes a la corrosión, a la sal y a otros residuos que pueden estar en el agua. La tecnología en estos vehículos ha avanzado de modo que su sistema de propulsión respeta el medio ambiente, al igual que en los drones submarinos, usan hidrógeno renovable. Los usos de estos drones son apoyo en tareas de salvamento acuático, puesto que al moverse en la superficie y equipados con cámaras, permiten captar imágenes de lo que sucede en alta mar. También son utilizados como apoyo en operaciones navales y en la actualidad se están desarrollando estos vehículos superficiales para la limpieza del mar, es

decir, drones que recolectan la basura que se encuentra en los mares, de esta forma mantener la vida marina y evitar contaminación y destrucción de este tipo de ecosistema.

1.4.4 Estado del arte

En Ecuador se han diseñado e implementado diversos sistemas de mantenimiento sanitario para la limpieza de ríos y esteros con el fin de conservar el medio ambiente. Entre los diseños investigados se encuentran los recolectores de desechos acuáticos, que son maquinarias tripuladas que implementan un mecanismo de banda transportadora para la recolección de basura acuática. Esta es luego desalojada en contenedores, facilitando el transporte de los desechos sin interrumpir la fluidez del proceso [13].



Figura 1.11 Recolector de desechos acuáticos

Sin embargo, el tamaño y autonomía no cumplen con los requisitos del proyecto, por lo que se investigaron modelos internacionales que permitan la recolección de basura superficial de manera autónoma, encontrando el Razer y Clearbot Robot, diseñado para limpiar la basura en el mar.

Este robot acuático desarrollado en Hong Kong tiene un sistema autónomo el cual se energiza mediante paneles solares. Este tipo de robots tiene como objetivo recoger desechos como plásticos, basura y residuos sólidos vertidos en los océanos, pudiendo recoger hasta 250 kg de desechos del mar en una salida, es decir, que en un día puede recoger aproximadamente 1 tonelada, debido a que cuenta con un sistema de

vaciado eficiente el cual se energiza de la luz solar captada por sus paneles solares.

El Clearbot tiene un sistema de cámaras que analiza las imágenes captadas y la procesa a través de su inteligencia artificial y es capaz de identificar y clasificar los tipos de residuos que se encuentra en su paso en un radio de 2 metros alrededor de sí mismo.

Además de esto, el robot tiene la capacidad de emitir un sonido para ahuyentar a los peces y de esta forma evitar accidentes con los seres vivos del mar [14].

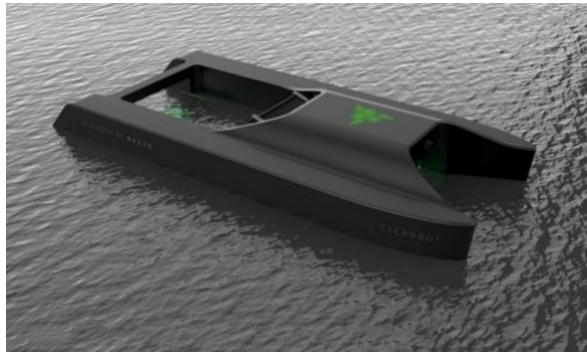


Figura 1.12 Razer y Clearbot Robot

A partir de estos modelos de recolección de basura acuática, se espera diseñar un vehículo rentable, de menor escala y uso doméstico, para que pueda navegar en una piscina con movimientos rectos o curvos, evitando choques al reconocer obstáculos con el uso de sensores.

Siguiendo la línea de robots limpiadores, se puede tomar en cuenta los limpiadores de piso con mecanismo de accionamiento diferencial [15].

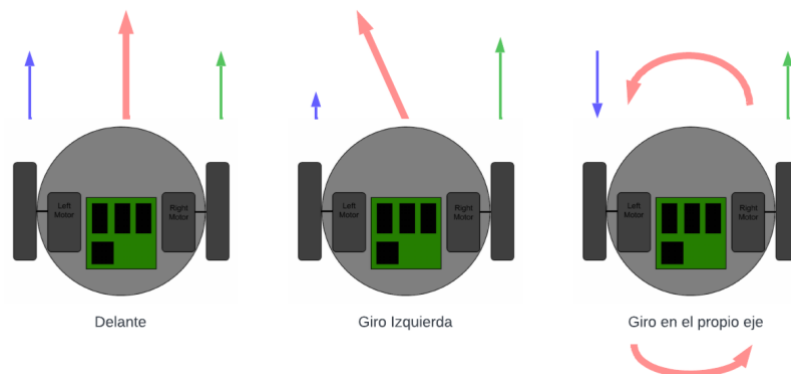


Figura 1.13 Movimientos de robot con accionamiento diferencial.

El limpiador de *Xiaomi Vacuum Mop 2S* funciona con un sistema de navegación utilizando sensores para escanear el espacio por donde se mueve y así evitar obstáculos. Una de estas navegaciones es la aleatoria, genera rutas aleatorias de movimiento haciendo uso de sensores de distancia, ideal cuando existen espacios reducidos. Del mismo modo, tiene la navegación por mapeo, la cual utiliza sensor especial que es Lidar o laser invisible que escanea toda el área donde se encuentra para generar rutas de limpieza. También existen modelos que cuentan con una cámara en la parte superior del robot y obtiene imágenes en tiempo real que las procesa y determina la distancia de los objetos para moverse sin chocarse [16].



Figura 1.14 Robot aspirador [16]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan las tres alternativas de solución, con el microcontrolador que será la parte principal y el que permitirá el funcionamiento del dron, posteriormente se elegirá la alternativa viable y se especificarán con detalle sus sensores y actuadores. Además, se presentará la metodología y análisis de diseño mecánico y electrónico.

2.1 Alternativas de solución

2.1.1 Alternativa 1

Diseño de un dron acuático compuesto por un sistema de succión que llevará los desechos sólidos a un mini tanque de almacenamiento, utilizando una Orange pi como microcontrolador, motor a paso para su movilización y un joystick como control para modo manual.

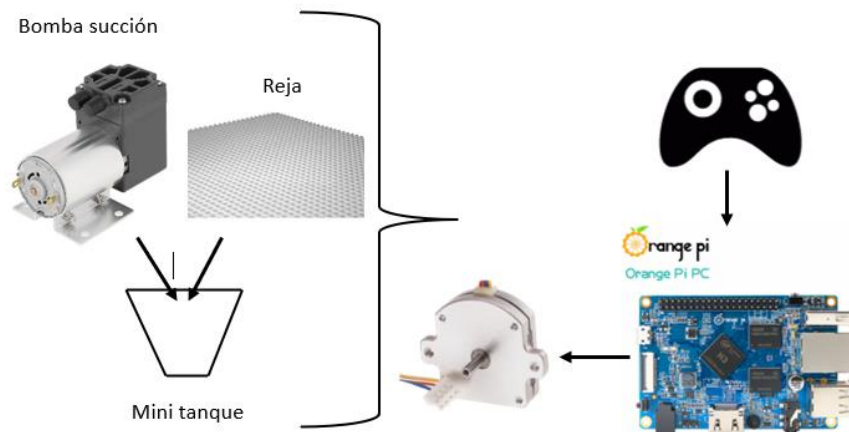


Figura 2.1 Diagrama de Alternativa 1

2.1.2 Alternativa 2

Diseño de un dron acuático constituido por una banda transportadora que acumulará los desechos sólidos en el depósito ubicado en el vehículo, utilizando la tarjeta NodeMCU ESP32S como microcontrolador, motores DC para movilizar el dron y una plataforma Ubidots, para controlarlo de manera manual.

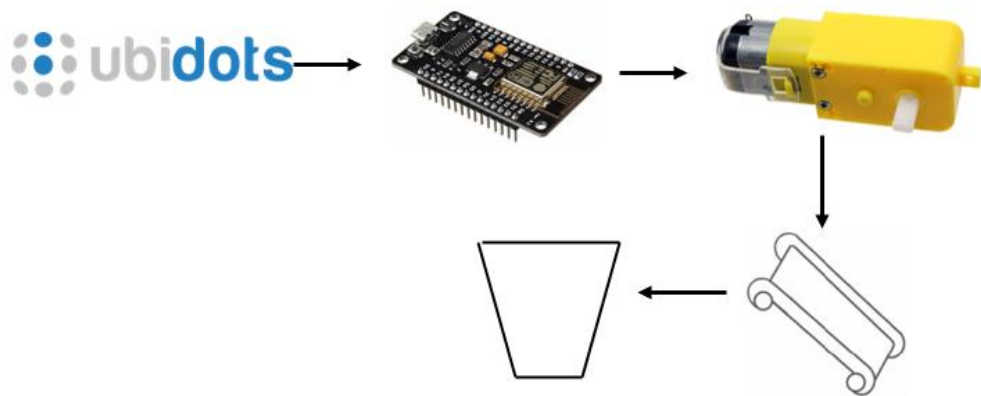


Figura 2.2 Diagrama de Alternativa 2

2.1.3 Alternativa 3

Diseño de un dron acuático con una canasta donde se irán acumulando los residuos sólidos a medida que va navegando el dron con motores DC alimentados por paneles solares, el cual está controlado por un Arduino MKR Wifi 1010 y hace uso una página web para el control remoto del mismo.

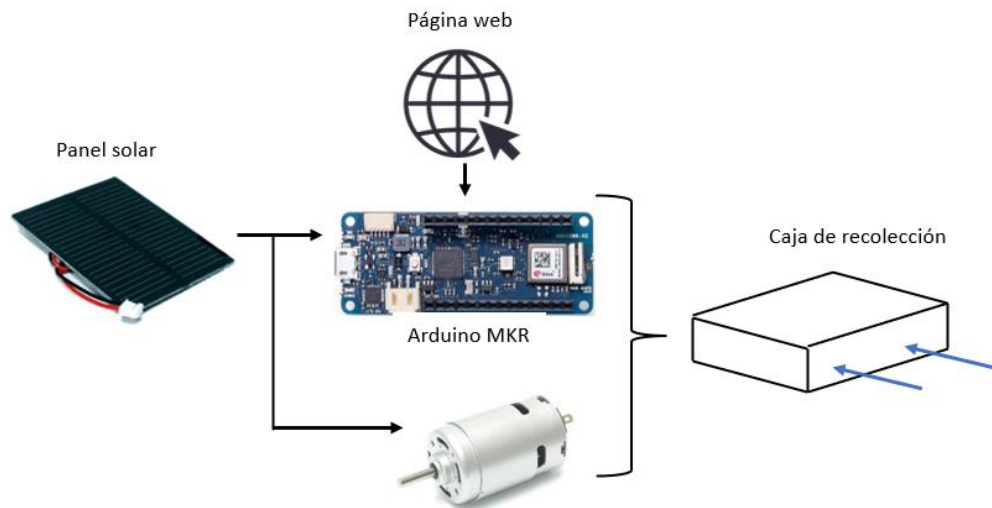


Figura 2.3 Diagrama de Alternativa 3

Para seleccionar la alternativa más adecuada, se utilizó el método de ponderación de criterios, por lo que se seleccionaron los criterios principales que deberían cumplir cada una de ellas. En la Tabla 2.1 se los ordenaron en base a su rango de importancia y se los ponderaron para obtener su respectivo porcentaje de decisión. A continuación, se mostrará cada criterio con su respectiva descripción.

- **Viabilidad:** posibilidad de obtener los recursos tecnológicos en el mercado local para construir el producto.
- **Precio:** la solución debe ser rentable.
- **Eficiencia:** el vehículo debe ser capaz de cumplir la limpieza en corto tiempo.
- **Portabilidad:** el vehículo debe ser compacto capaz de ser trasladado a cualquier lugar.
- **Complejidad:** el mecanismo de recolección debe ser sencillo y de fácil manejo para el operario.

Tabla 2.1 Criterios de selección

CRITERIOS DE SELECCIÓN			
Peso	Criterio	Rango de importancia	% de Decisión
4	Viabilidad	1	27%
4	Eficiencia	2	27%
3	Complejidad	3	20%
2	Precio	4	13%
2	Portabilidad	5	13%
15	TOTAL		100%

Posteriormente, cada alternativa propuesta se evaluó en función de los criterios que se describieron anteriormente. A partir de este análisis, se seleccionó la alternativa 2, puesto que cumple con cada requerimiento. Es decir, la solución es viable al existir la posibilidad de conseguir cada elemento en el mercado local, porque permite que el precio de construcción no sea elevado. Por otro lado, su diseño es eficiente ya que su tiempo de limpieza sería adecuado al permitir la recolección de desechos al mismo tiempo en que avanza el vehículo. Finalmente se considera portable, porque puede ser transportado de un lugar a otro sin necesidad de desmontarlo.

En la Tabla 2.2 se pueden evidenciar las alternativas que fueron evaluadas en base a cada criterio con su respectivo orden de prioridad.

Tabla 2.2 Matriz de decisión de alternativas de solución.

	CRITERIO					RESULTADOS		
Pesos	4	4	3	2	2	Puntaje sin peso	Puntaje con peso	Prioridad
Opciones	Viabilidad	Eficiencia	Complejidad	Precio	Portabilidad			
Alternativa 1	2	1,5	1,5	1,5	1,5	8	24,5	3
Alternativa 2	2,5	2,5	3	3	2,5	13,5	40	1
Alternativa 3	1,5	2	1,5	1,5	2	8,5	25,5	2

2.2 Proceso de Diseño

Para lograr el diseño final fue importante establecer varias etapas de desarrollo del prototipo. Cada etapa del proceso de diseño fue colocada con el fin de solucionar la problemática, a su vez de cumplir con los requerimientos solicitados. En la Figura 2.4 se muestra con un diagrama de flujo, la secuencia de etapas durante el proceso de diseño.

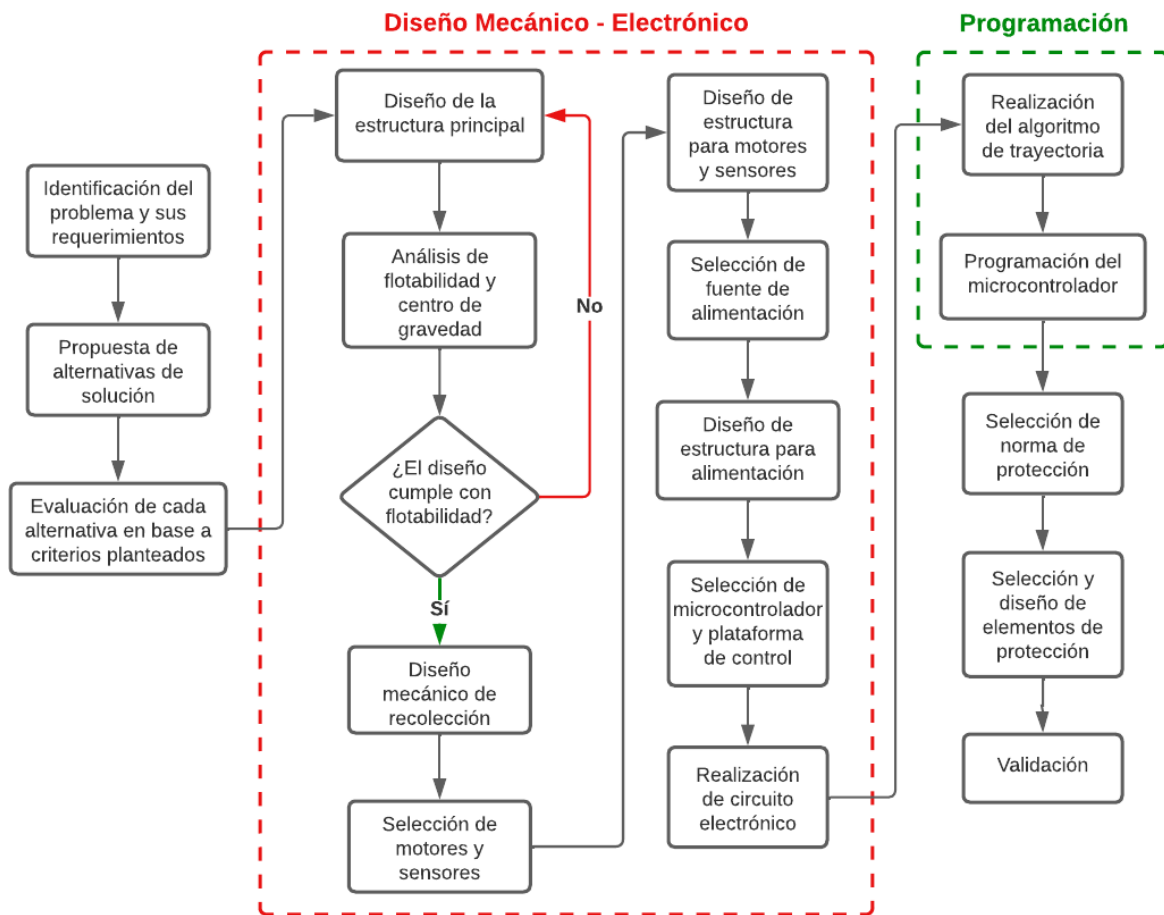


Figura 2.4 Diagrama de flujo del proceso de diseño.

2.3 Requerimientos de diseño

Para realizar el diseño de un limpiador superficial de piscina fue necesario tener establecidos los requerimientos del cliente, los cuales se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Requerimientos de diseño definidos.

Funcionalidad	Recoger hojas, desechos y polvo que se encuentre en la superficie de la piscina, de manera autónoma o manual.
Capacidad	Ser capaz de contener los materiales recogidos de una piscina de tamaño promedio de 7x4 metros.
Autonomía	El vehículo debe realizar la limpieza totalmente autónoma siendo posible cambiar a modo manual.
Tiempo de operación	Hasta 1 hora de limpieza.
Mantenimiento	Ofrecer mantenimiento semestral.
Costos	Uso de tecnologías disponibles y baratas para mantener el prototipo completo rentable.
Tamaño	El vehículo debe tener un tamaño aproximado menor a 70x40 cm.

2.4 Diseño conceptual

En la Figura 2.5 se ilustra un boceto inicial del limpiador de superficie de piscina, en donde se puede observar la forma del vehículo, los sensores que permitirán hacer que el vehículo se vuelva autónomo y el mecanismo de recolección que será mediante un sistema de banda transportadora.

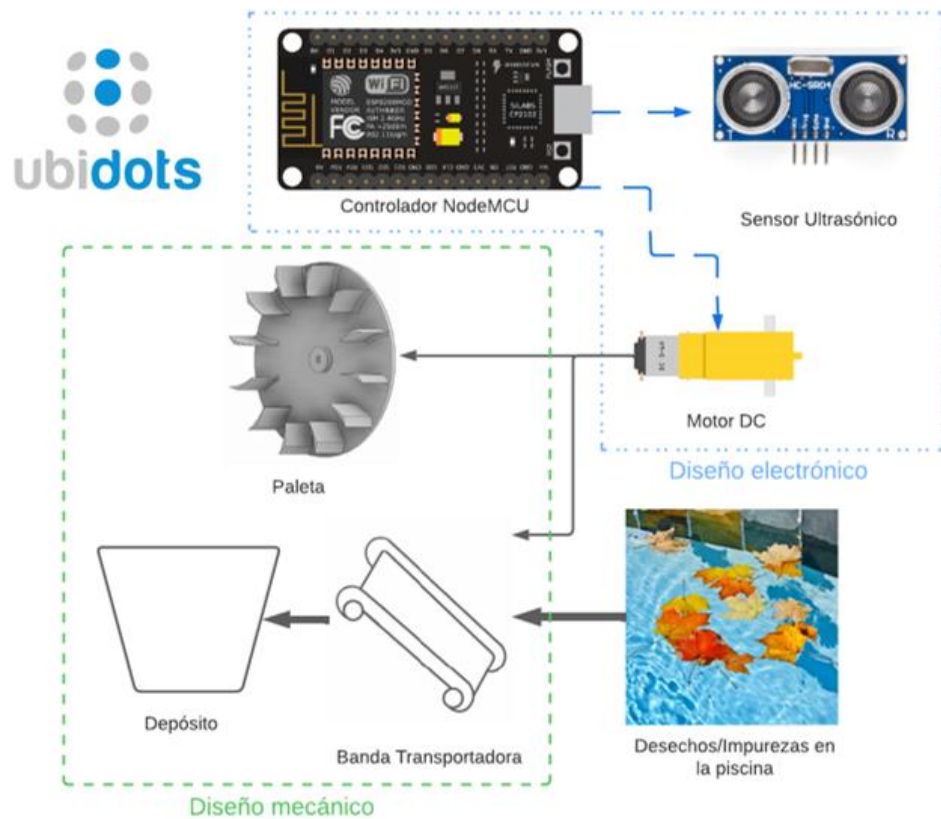


Figura 2.5 Diseño conceptual de la solución

Para el desarrollo de este diseño, fue importante analizar la función que tendrá el vehículo y los requerimientos técnicos que solicitó el cliente. Abordando ambos puntos, fue posible llegar a un diseño conceptual y prototipado de la solución propuesta.

Como se desea que el vehículo recoja hojas y desechos que se encuentran en la piscina, en el diseño se procedió a realizar un depósito que se encuentra en la misma estructura del vehículo. De igual manera, el diseño cumple con el tamaño requerido, el cual solicita tener un tamaño menor a 70x40 cm. También se consideraron los modos de operación, los cuales son el modo manual y el autónomo, capaces de limpiar una piscina en un tiempo aproximado de 1 hora.

Dado que uno de los requerimientos es que sea rentable, se elaboró el circuito electrónico, de modo que se utilicen componentes que se puedan encontrar en el mercado local, produciendo un modelo sin tiempo de espera de importación de componentes.

2.5 Diseño mecánico

En el diseño mecánico se considera inicialmente el material a utilizar en el limpiador de piscina, también se muestra el diseño preliminar de la barcaza del vehículo y posteriormente se realizan los cálculos de flotabilidad y estabilidad para verificar la funcionalidad del diseño propuesto.

Se realiza el mecanismo de recolección el cual será mediante sistema de banda transportadora, que a su vez contará con un reductor de velocidad, para que la recolección de la máquina sea eficiente y no le tome mucho tiempo.

2.5.1 Selección de material de impresión

Con la finalidad de comprobar la funcionalidad de la alternativa ganadora, según el orden de prioridad, primero se procedió a seleccionar el material del filamento, el cual sirve para la impresión 3D, misma que permitirá imprimir las partes del vehículo limpiador de piscina.

Los materiales más comunes en la impresión 3D son el ABS y el PLA, las principales diferencias son que el ABS necesita más calor para fundirse, siendo su principal ventaja frente al PLA, ya que es un material que en sus aplicaciones resiste a altas temperaturas. Por otro lado, el ABS es más flexible, mientras que el PLA es un material más fuerte y rígido que el ABS. Finalmente, ambos tienen un mismo precio en el mercado [17].

Mencionadas las principales características de ambos filamentos, el seleccionado es el PLA. Este es un material común en el mercado, no necesita de una alta temperatura de fusión para poder imprimirse, no desprende gases nocivos y es compatible con cualquier impresora 3D. Además, tiene la característica de ser más fuerte, esto es importante puesto que permite realizar una estructura confiable para el vehículo superficial que pueda soportar la carga de peso de los desechos sólidos recogidos.

2.5.2 Sistema de recolección de desperdicios

Para realizar el diseño del sistema de recolección de desperdicios, se estableció la velocidad de avance de la banda transportadora a 10 cm/s. Además, se consideró la necesidad de uso de una fuente DC para la

energización de todo el sistema electrónico, por lo que el motor conectado al eje principal de la banda transportadora (Figura 2.7) debe ser DC.

En base a esto, se agregó un piñón reductor de velocidad para el eje principal, como se observa en la Figura 2.6.

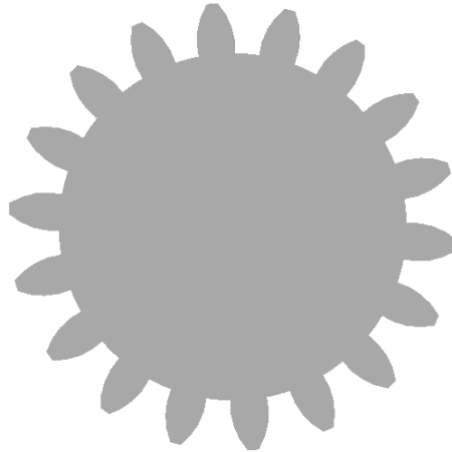


Figura 2.6 Piñón reductor de velocidad

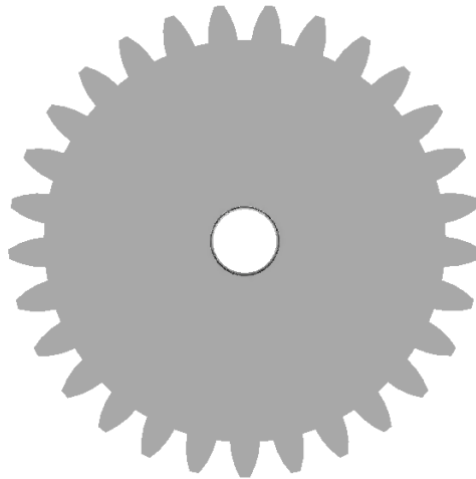


Figura 2.7 Engranaje conducido

A través de la relación de transmisión de engranes, ecuación (2.1), se calculó la velocidad angular a la que debe estar el piñón.

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.1)$$

Donde despejando queda la ecuación(2.2).

$$\omega_1 = \frac{\omega_2 * r_2}{r_1} \quad (2.2)$$

Para esto fue necesario transformar de lineal a angular la velocidad del engrane conducido con la ecuación (2.3). Los datos conocidos están descritos en la Tabla 2.4.

$$\omega_2 = \frac{v_2}{r_2} \quad (2.3)$$

$$\omega_2 = \frac{10 \frac{cm}{s}}{1.5 cm}$$

$$\omega_2 = 6.67 \frac{rad}{s}$$

Tabla 2.4 Datos del tren de engranajes

	Radio [mm]	Velocidad angular [rad/s]	N. dientes
Conductor	10	ω_1	18
Conducido	15	6.67	28

Después, para el cálculo de la velocidad angular del engrane conductor se reemplazaron los valores correspondientes de la ecuación (2.2).

$$\omega_1 = \frac{6.67 * 15}{10}$$

$$\omega_1 = 10.005 \frac{rad}{s}$$

Luego esta velocidad angular se la convirtió a RPM.

$$10.005 \frac{rad}{s} * \frac{1 rev}{2\pi * rad} * \frac{60 seg}{1 min} = 95.5 RPM \approx 96 RPM$$

2.5.3 Ruedas de avance del vehículo

En lo que respecta a las ruedas del vehículo se consideró un diseño apropiado, además de que su ubicación sea en las partes laterales para que la base del vehículo sea plana y pueda ser movilizad. Se siguió un modelo similar a los alabes hidráulicos y a la rueda hidráulica de alimentación inferior como se muestra en la Figura 2.8.

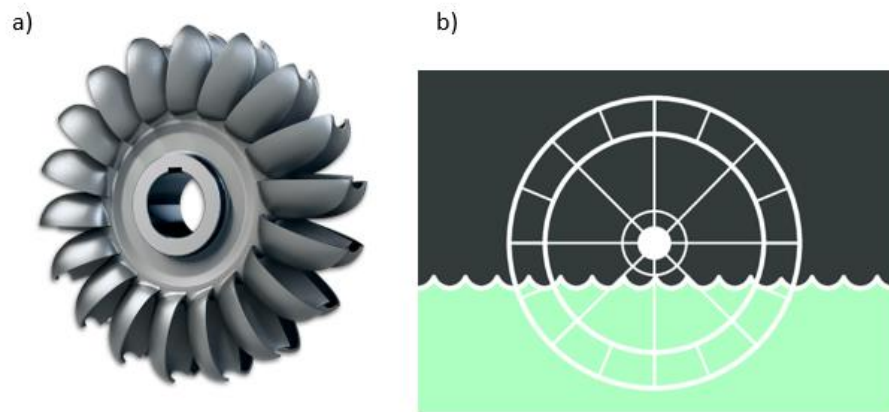


Figura 2.8 a) Alabes hidráulicos b) Rueda hidráulica de alimentación inferior

Ambos diseños permiten generar energía eléctrica por medio del movimiento que genera el flujo de agua. Este mismo principio se utilizó con la diferencia de que las ruedas del vehículo permiten mover un volumen considerable de agua para el avance de este.

Además, al cambiar la estructura externa que sostiene los álabes, se considera que la potencia calculada será una aproximación al valor real. Esto se debe a que una rueda hidráulica de alimentación inferior comprende de una jaula externa abierta que sostiene cada uno de los álabes, mientras que la paleta diseñada para este prototipo se sostiene de una pared lateral, cuyo volumen no es equivalente al diseño de referencia.

En lo que respecta al giro de izquierda o derecha del vehículo, se tomó en consideración el movimiento de un vehículo diferencial terrestre el cual tiene una rueda de cada lado. Para girar en sentido horario o antihorario, es necesario invertir el sentido de giro de la rueda contraria al sentido del que se quiere ir. Para girar hacia la derecha o izquierda, sobre el mismo eje, se invierte la dirección de avance de una rueda y se mantiene

la velocidad en la otra según corresponda el caso como se muestra en la Figura 1.13.

En la Figura 2.9 se muestra el diseño final de las ruedas del vehículo, en donde se muestra el volumen de agua a desplazar al momento de avanzar.

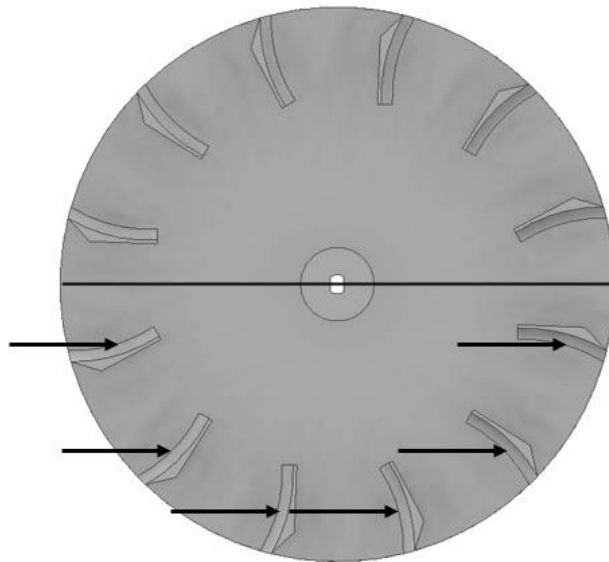


Figura 2.9 Volumen sumergido de la rueda.

En el eje de la rueda va conectado directamente el eje del motor, el cual se consideró un motorreductor amarillo el cual se alimenta con 6V, máximo. La potencia del motor con carga se muestra en la ecuación(2.4).

$$P_{motor} = V * I \quad (2.4)$$

$$P_{motor} = 6 V * 150 mA$$

$$P_{motor} = 0.9 Watts$$

Transferencia de energía, ecuación (2.5) según el autor de la referencia [18] considera que existe una forma de calcular la velocidad conociendo el área de contacto de los álabes, considerando un factor de 0.41.

$$P = 0.41 * \rho * A * v^3 \quad (2.5)$$

$$v = \sqrt[3]{\frac{P}{0.41 * \rho * A_{rueda}}}$$

$$A_{rueda} = n * A_{\acute{a}labe} \quad (2.6)$$

Se considera que la rueda se sumerge la mitad, por lo que el área sería el 50% del área total. En la Figura 2.10 se observa el área del álabes que hará contacto con el agua.

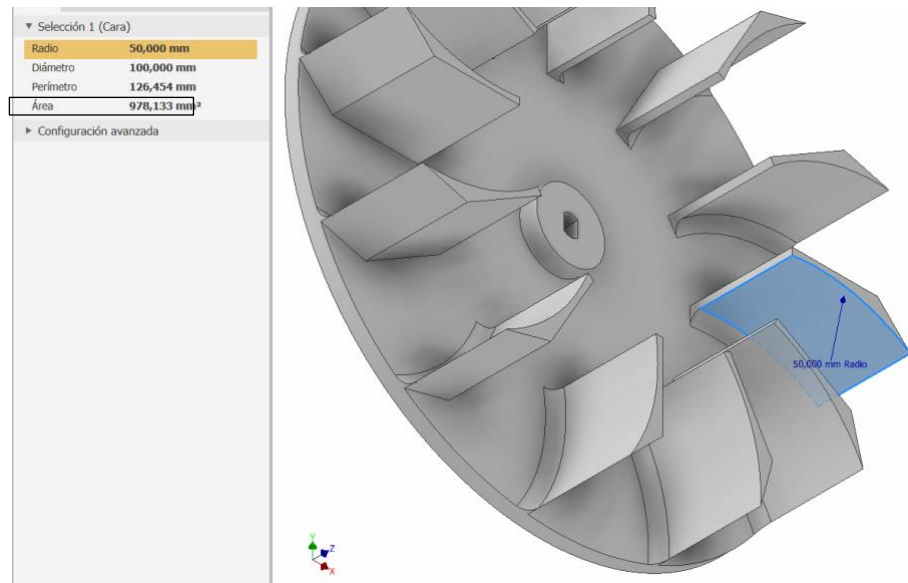


Figura 2.10 Área del álabes que hace contacto con el agua

$$A_{\acute{a}labe} = 978.133 \text{ mm}^2 = 9.78133 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{rueda} = 6 * A_{\acute{a}labe}$$

$$A_{rueda} = 6 * 9.78133 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{rueda} = 5.87 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Reemplazando (2.5)

$$v_{rueda_{M\acute{a}x}} = \sqrt[3]{\frac{0.9 \text{ Watts}}{0.41 * 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 5.87 \times 10^{-3} \text{ m}^2}}$$

$$v_{rueda_{M\acute{a}x}} = 0.72 \frac{m}{s} = 72 \frac{cm}{s}$$

Velocidad a RPM, (2.3)

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{0.72 \frac{m}{s}}{0.075 m}$$

$$\omega = 9.6 \frac{rad}{s}$$

$$9.6 \frac{rad}{s} * \frac{1 rev}{2\pi * rad} * \frac{60 seg}{1 min} = 91.67 RPM$$

2.5.4 Cálculos de flotabilidad y estabilidad

Para determinar si el modelo diseñado podrá flotar, se parte del concepto de que un cuerpo flotante desplaza una cantidad de agua igual a su peso. Por lo que fue necesaria la obtención de la masa y volumen de la caja principal del limpiador y de los componentes electrónicos seleccionados. Los valores de la caja fueron obtenidos a través de la simulación en Inventor, luego de especificar las propiedades físicas del material seleccionado, obteniendo que la masa es de 1.359 kg y su volumen de 1086162.430 mm³.

Posteriormente, se creó un nuevo sólido, cuyo material es agua, a partir del llenado de la caja principal, como se observa en la Figura 2.11. De igual manera, dado que se desean igualar los pesos de los sólidos, se consideró como parámetro de comparación la masa en kg y se colocó un plano de corte llamado "Línea de flotabilidad", que es paralelo a la base (Figura 2.13). El valor de la masa total del sistema, incluyendo las de los componentes, es de 2.757 kg. De esta forma se obtuvo que la línea de flotabilidad del vehículo se encuentra a una altura de 28.31 mm.

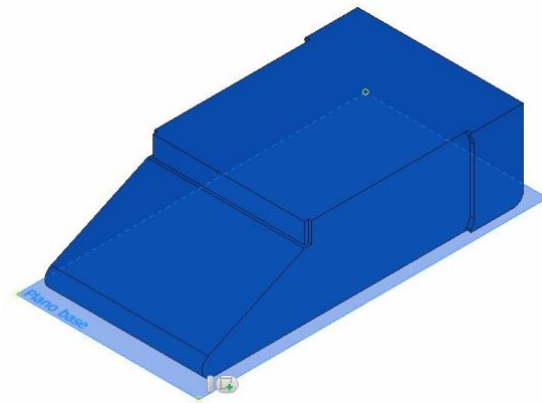


Figura 2.11 Nuevo sólido para cálculo de flotabilidad

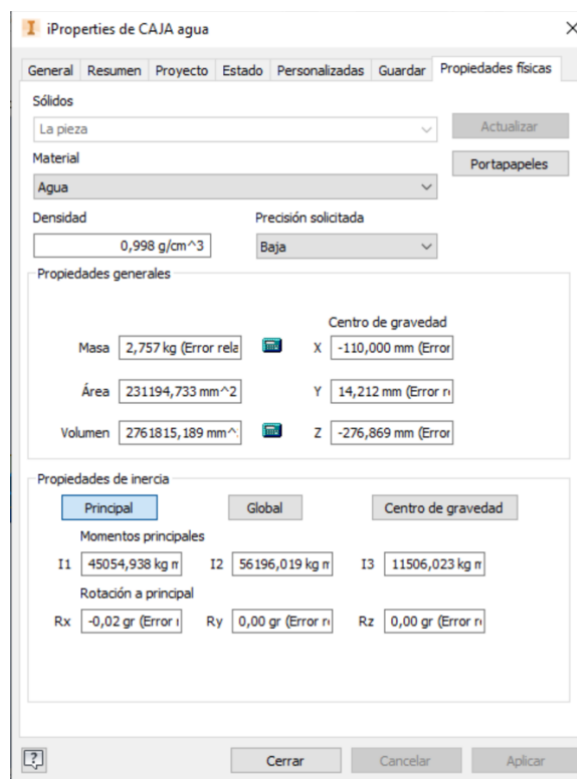


Figura 2.12 Propiedades físicas del nuevo sólido

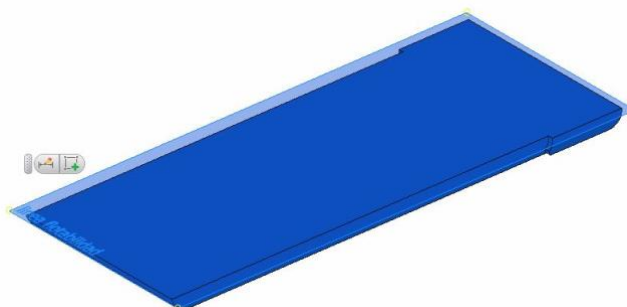


Figura 2.13 Línea de flotabilidad del vehículo

Luego se obtuvieron el centro de gravedad y el centro de flotabilidad del sistema, respecto a un marco referencial; todas las coordenadas se muestran en la Tabla 2.5. Por otro lado, en la Tabla 2.6, se muestran los momentos de inercia del sólido.

Tabla 2.5 Coordenadas del centro de gravedad y flotabilidad con su marco referencial

Coordenadas	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
Marco referencial	-110.00	28.31	-52.69
Centro de flotabilidad (CoF)	-110.00	28.31	-280.37
Centro de gravedad (CoG)	-110.00	14.21	-276.87

Tabla 2.6 Momentos de inercia del limpiador

	Momentos de inercia [mm ⁴]
I_x	397554313.65
I_y	656623114.41

A partir de esta información, se realizaron los cálculos correspondientes a la estabilidad de un barco. Para ello, fue necesario calcular la posición del metacentro tanto del lado transversal como del longitudinal.

En la Figura 2.14 se observa la vista transversal del vehículo, con su respectivo metacentro y centros de gravedad y de flotabilidad.

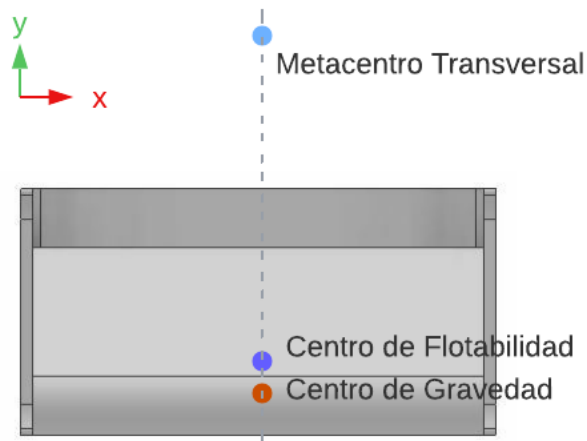


Figura 2.14 Vista transversal de la caja principal

Con el uso de la inercia transversal I_T , que corresponde a la inercia en el eje x , se obtuvo el radio metacéntrico FM_T en la ecuación (2.7), que es la distancia entre el centro de flotabilidad y el metacentro.

$$FM_T = \frac{I_T}{V_{desplazado}} \quad (2.7)$$

$$FM_T = \frac{397\,554\,313.65 \text{ mm}^4}{2\,761\,815.189 \text{ mm}^3} = 143.95 \text{ mm}$$

Después, se realizó el cálculo de la distancia entre el metacentro y la base del vehículo con la ecuación (2.8).

$$BM_T = CoF_y + FM_T \quad (2.8)$$

$$BM_T = 28.31 \text{ mm} + 143.95 \text{ mm} = 172.26 \text{ mm}$$

Por lo que la distancia entre el centro de gravedad y el metacentro transversal se obtuvo con la ecuación (2.9).

$$GM_T = BM_T - CoG_y \quad (2.9)$$

$$GM_T = 172.26 \text{ mm} - 14.21 \text{ mm} = 158.05 \text{ mm}$$

Luego, se realizaron los cálculos para la obtención de la posición del metacentro en el lado longitudinal. En la Figura 2.15 se observa la vista

longitudinal del vehículo con su respectivo metacentro, centro de gravedad y de flotabilidad.

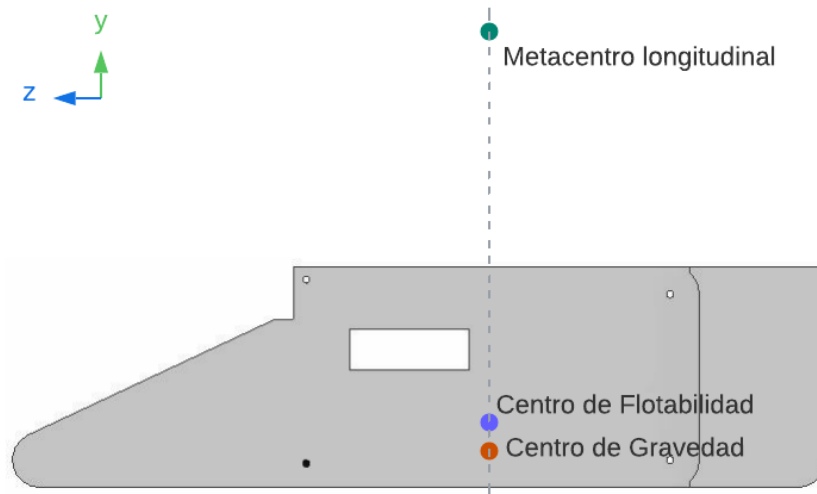


Figura 2.15 Vista longitudinal de la caja principal

Para este caso se utiliza en la ecuación (2.10) el momento de inercia en el eje y como la inercia longitudinal.

$$FM_L = \frac{I_L}{V_{desplazado}} \quad (2.10)$$

$$FM_L = \frac{656\,623\,114.41 \text{ mm}^4}{2\,761\,815.189 \text{ mm}^3} = 237.75 \text{ mm}$$

Después, se realizó el cálculo de la distancia entre el metacentro y la base del vehículo con la ecuación (2.11).

$$BM_L = CoF_y + FM_L \quad (2.11)$$

$$BM_L = 28.31 \text{ mm} + 237.75 \text{ mm} = 266.06$$

Por lo que la distancia entre el centro de gravedad y el metacentro longitudinal se obtuvo con la ecuación (2.12).

$$GM_L = BM_L - CoG_y \quad (2.12)$$

$$GM_L = 255.06 \text{ mm} - 14.21 \text{ mm} = 251.85 \text{ mm}$$

Los valores GM_T y GM_L fueron resultados positivos y mucho mayores a CoG_y y CoF_y , entonces el diseño seleccionado para la caja principal se considera estable.

2.6 Diseño electrónico

Se procede a elegir los motores que servirán para dar movimiento al vehículo, los cuales tendrán en su eje una rueda con paletas para permitir el avance al vehículo. Se escogen los respectivos sensores que ayudarán a detectar los obstáculos que serían las paredes de la piscina para realizar la trayectoria autónoma del vehículo. Se realizan los cálculos de consumo de cada elemento para seleccionar la batería que alimentará todo el sistema electrónico.

2.6.1 Selección de motor y sensor

En la selección del motor para mover el vehículo en general, se tomó en cuenta que previamente se seleccionó un motorreductor a 95 RPM para la banda transportadora, la cual tiene una velocidad de 10 cm/seg. Para este caso, la velocidad del vehículo debe ser mayor, ya que debe recorrer una piscina promedio de 7x4 metros en máximo 1 hora de manera autónoma, se calculó la velocidad mediante la ecuación (2.13).

$$v = \frac{d}{t} \quad (2.13)$$

Si el limpiador de piscina recorre el perímetro, cuyo valor es de 22 metros, en un tiempo de 2 minutos sin carga, el valor de su velocidad es:

$$v = \frac{22 \text{ m}}{120 \text{ s}}$$
$$v = 0.183 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El tamaño de una rueda que moverá el vehículo y se diseñó es de 0.075 m de radio, se calcula la velocidad angular con la ecuación (2.14).

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (2.14)$$
$$\omega = \frac{0.183 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.075 \text{ m}}$$
$$\omega = 2.54 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \approx 3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Si se convierte esta velocidad angular a RPM se tiene:

$$3 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 28.65 \text{ RPM} \approx 29 \text{ RPM}$$

Debido a que son dos ruedas, se dice que su velocidad en RPM se duplica, por lo que se tendría 58 RPM. Un motorreductor que se muestra en la Figura 2.16 tiene una velocidad mínima de 95 RPM, se puede asegurar que este será suficiente para mover todo el sistema con carga a una velocidad similar a la calculada previamente sin carga.



Figura 2.16 Motorreductor

Para la detección de obstáculos, los cuales son las paredes de la piscina, es necesario contar con una distancia mínima de seguridad de aproximadamente 10 cm para que el limpiador de piscina tenga la opción de girar para evitar colisionar y seguir su trayectoria. Por esta razón, se eligió el sensor de distancia ultrasónico HC SR04 que se observa en la Figura 2.17 ya que su rango de detección es de 2 a 450 cm, lo que ayuda a la planificación del movimiento autónomo del limpiador de piscina.

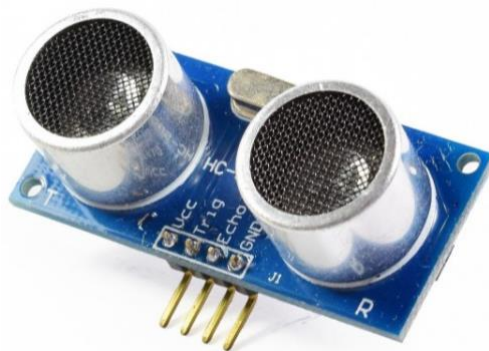


Figura 2.17 Ultrasónico HC SR04

2.6.2 Consumo energético

Para calcular el consumo energético fue necesario medir el voltaje de operación y el amperaje de cada componente que conforma la parte electrónica del vehículo.

Tabla 2.7 Consumo energético de componentes

	Cantidad	Voltaje [V]	Amperios [mA]	Potencia [mW]
NodeMCU	1	12	1	12
HC-SR04	2	5	15	150
Motorreductor	3	5	75	1125
L298 N	1	12	36	432
LM2596	1	12	20	240

La Tabla 2.7 indica el amperaje en miliamperios es de 147 mA por unidad y 312 mA en total por todos los componentes. Se procede a calcular el consumo total por día mediante la siguiente ecuación:

$$C = I * h * día [mAh/día] \quad (2.15)$$

Esta ecuación se la reemplaza considerando que el dispositivo trabajará una hora en un día, el cálculo se lo hace para un día:

$$C = 312 * 1 * 1$$

$$C = 312 \left[\frac{mAh}{día} \right]$$

$$C = 0.312 \left[\frac{Ah}{día} \right]$$

Con la información obtenida sobre el consumo por cada hora en un día, se puede destacar que se puede seleccionar una batería que proporcione 12 V a 312 mA

2.6.3 Selección de fuente de poder

En el mercado local, no existen baterías de 12 a 312 mAh, pero se puede seleccionar una batería de ácido sellada de 12 V a 4 Ah cuya corriente inicial es 1.2 A como se muestra en la Figura 2.18.



Figura 2.18 Batería 12 V 4Ah

Previamente se calculó que el consumo de corriente es de 312 mAh, pero si se realiza el cálculo en donde se divide la corriente inicial de la batería para el consumo total, se obtendría cuántas veces se podría utilizar la batería antes de descargarse, ecuación (2.16).

$$\frac{C_i}{Consumo} = \frac{1.2 [A]}{0.312 \left[\frac{Ah}{día} \right]} = 3.84 \approx 4 \left[\frac{días}{h} \right] \quad (2.16)$$

Se puede observar que el vehículo puede operar 4 días, una hora por día. Se procede a realizar la misma operación como se tiene en la ecuación (2.17) para la capacidad total de la batería que es de 4Ah.

$$\frac{C_T}{Consumo} = \frac{4 [Ah]}{0.312 \left[\frac{Ah}{día} \right]} = 12.82 \approx 13 [días] \quad (2.17)$$

En base al resultado obtenido, se puede decir que la batería puede operar 13 días en su capacidad máxima. Si bien son varios días, lo ideal es no hacer trabajar la batería a su máxima capacidad ya que puede verse afectado su ciclo de vida. Por esta razón es importante distribuir de manera

correcta la alimentación de cada elemento, por lo que se utilizará un LM2596 para alimentar los componentes que no requieran de 12 V, como los motorreductores y los sensores Ultrasónicos. En la Tabla 2.8, se muestra los voltajes de entrada y de salida del LM2596.

Tabla 2.8 Voltajes de entrada y salida del LM2596

	Voltaje [V DC]	Corriente [A]
Entrada	4.5 a 40	-
Salida	1.23 a 37	3

2.7 Diseño de plataforma de control

Se usó una plataforma IoT, que permite mantener dispositivos conectados a la misma red, monitorear sensores y accionar actuadores. Para el caso del presente proyecto se optó por usar Ubidots como se muestra en la Figura 2.19 que tiene la ventaja de abrir la cuenta del navegador de cualquier dispositivo móvil o computador y mediante las respectivas credenciales, se puede accionar el vehículo limpiador de piscina.

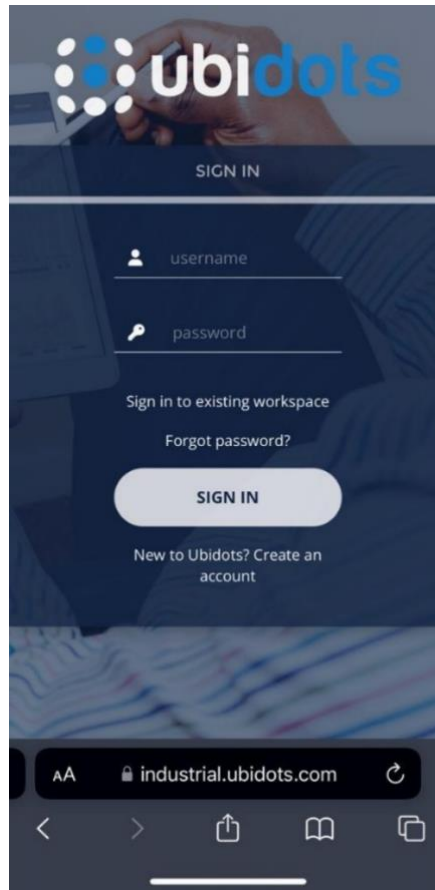


Figura 2.19 Ubidots en dispositivo móvil

Para ingresar a los controles del vehículo, se debe seleccionar el Dashboard como se muestra en la Figura 2.20 que se creó previamente en la página de Ubidots.

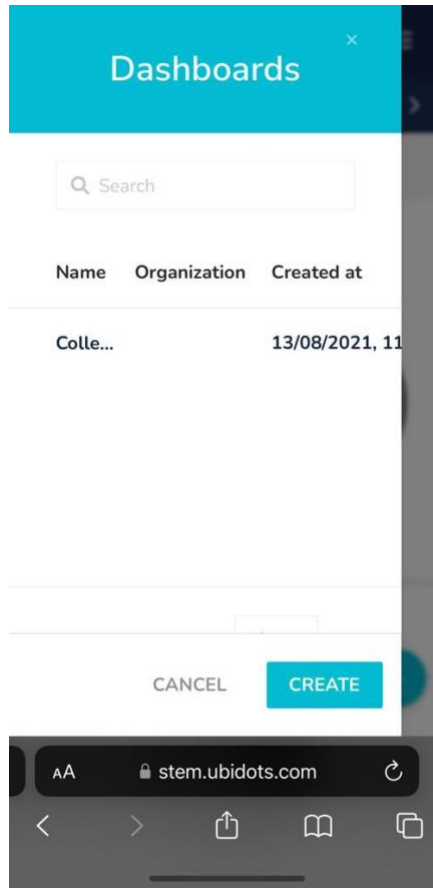


Figura 2.20 Dashboard del Collect Boat

Se tendrán dos modos de operación del vehículo, el primer modo es el Manual que será controlado desde la aplicación Ubidots, con los respectivos íconos de avance, retroceso, izquierda y derecha.

El segundo modo es el automático, en donde el vehículo se moverá de forma autónoma mediante una trayectoria previamente establecida en el microcontrolador. Por lo que el prototipo de la aplicación móvil se vería como en la Figura 2.21.

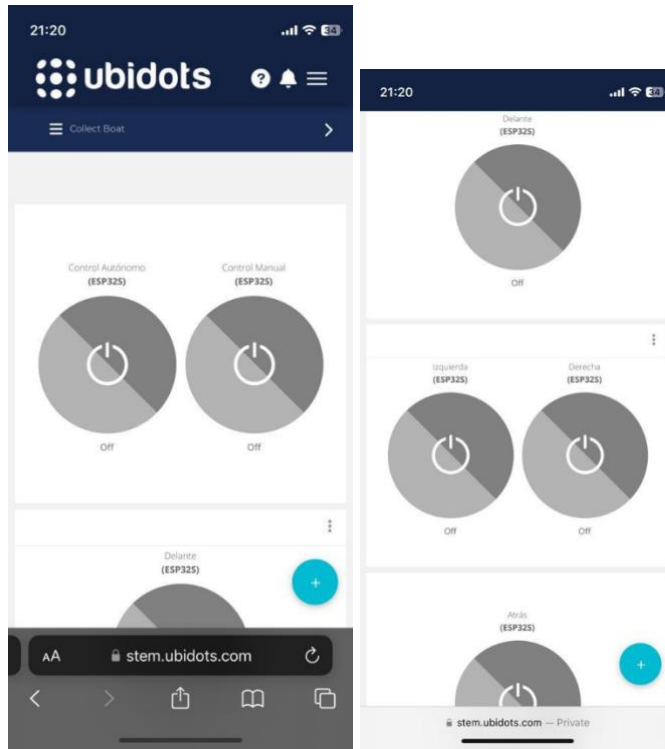


Figura 2.21 Interfaz del control del vehículo

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentará el diseño 3D del robot limpiador de superficie de piscina, el cual se conforma por una banda transportadora que llevará los residuos sólidos que se encuentran en la piscina hasta un depósito ubicado en la parte posterior del robot. Se mostrará el diseño de dicha banda la cual consta de un sistema de dos engranajes para reducir la velocidad del motor principal y que la banda tenga una velocidad apta. En la parte eléctrica se mostrará el diagrama de conexiones que permite enviar la señal del microcontrolador a los motores que a su vez se encargarán de mover las paletas y así se pueda transportar el vehículo.

3.1 Diseño mecánico

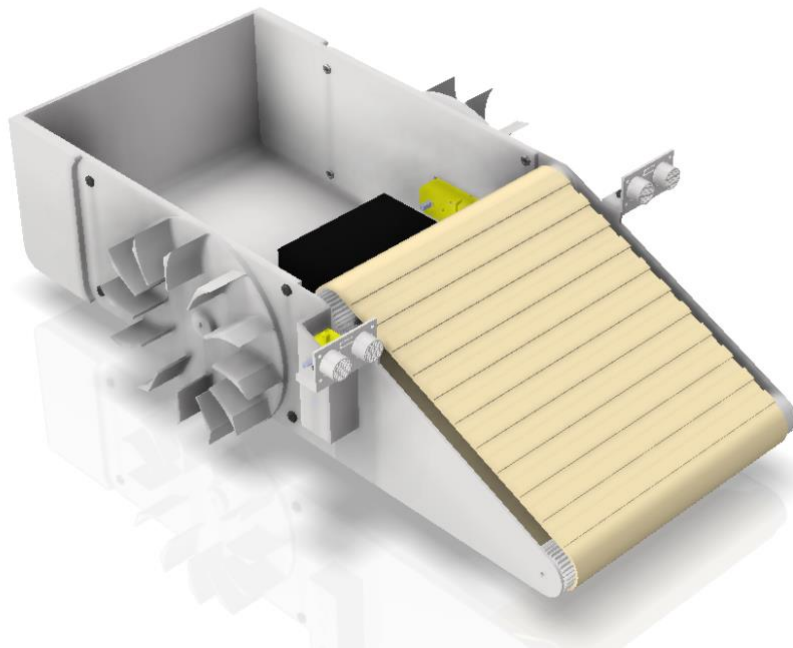


Figura 3.1 Diseño final del Robot limpiador de superficie de piscina

En la Figura 3.1 se muestra la propuesta del robot limpiador de piscina diseñado en el software Autodesk Inventor. Este software fue clave para realizar el análisis de flotabilidad, puesto que ayudó a determinar si el material en uso flota y además la línea de flotabilidad el modelo propuesto. En la implementación, inicialmente la línea de flotabilidad se inclinaba hacia la derecha del vehículo como se observa en la Figura 3.2, esto se debió a que

el peso de la batería no es uniforme, y al colocar la batería en orientación horizontal se inclinaba la línea de flotabilidad, pero el vehículo si se mantenía estable en la superficie.

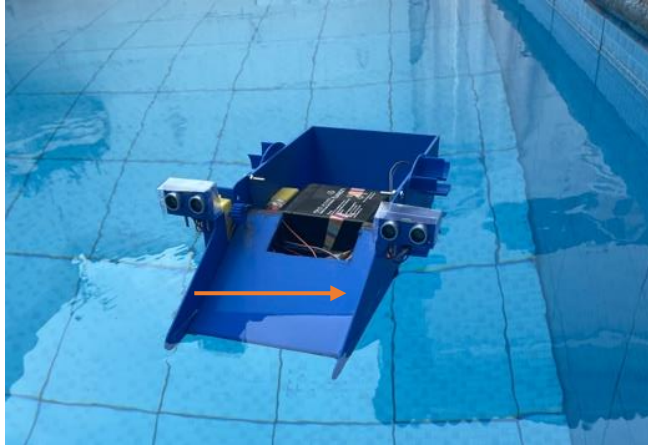


Figura 3.2 Línea de flotabilidad y estabilidad con el peso de la batería

Posteriormente se calculó la masa que debería tener un contrapeso para poder equilibrar la línea de flotabilidad del vehículo además de mejorar su estabilidad, esto se lo realizó en una balanza midiendo la masa faltante. En la Figura 3.3, se muestra la balanza con la masa necesaria para agregar al vehículo y en la Figura 3.4 y Figura 3.5, se observa la línea de flotabilidad recta como se calculó en el software Inventor mostrado en el capítulo 2.



Figura 3.3 Cálculo de la masa necesaria para equilibrar flotabilidad

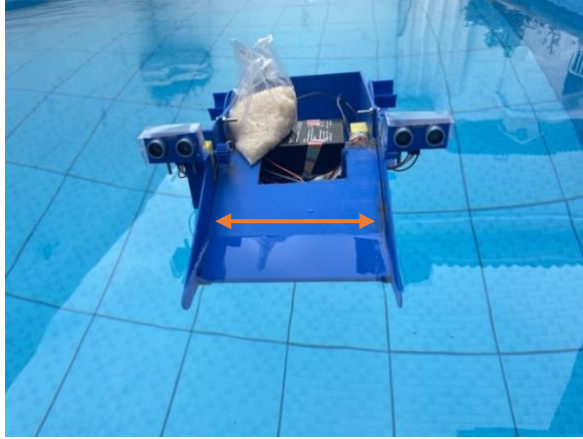


Figura 3.4 Línea de flotabilidad y equilibrio del vehículo

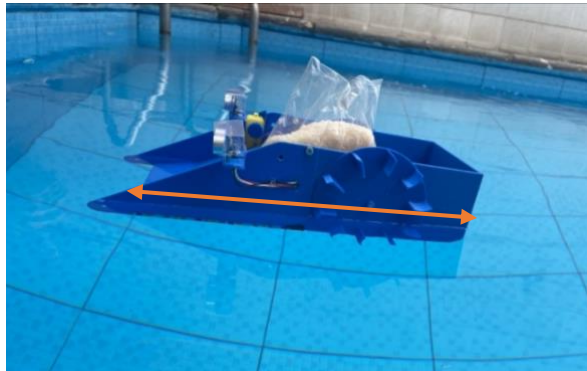


Figura 3.5 Línea de flotabilidad y equilibrio del vehículo vista lateral

El vehículo cuenta con una banda transportadora que se mueve mediante dos ejes, a su vez, este tiene una reducción de velocidad del motor principal. Posteriormente se evaluó el comportamiento de la banda al recoger los desperdicios, Al ser impresión 3D, fue posible diseñar en el mismo eje conducido un engranaje de diámetro de paso 28 mm y seguido del engranaje se realizó un rodillo como se muestra en la Figura 3.6 para tener mayor contacto con la banda puesto que hay mayor superficie de fricción y así evitar que se resbale la banda al momento de hacer girar el motor.

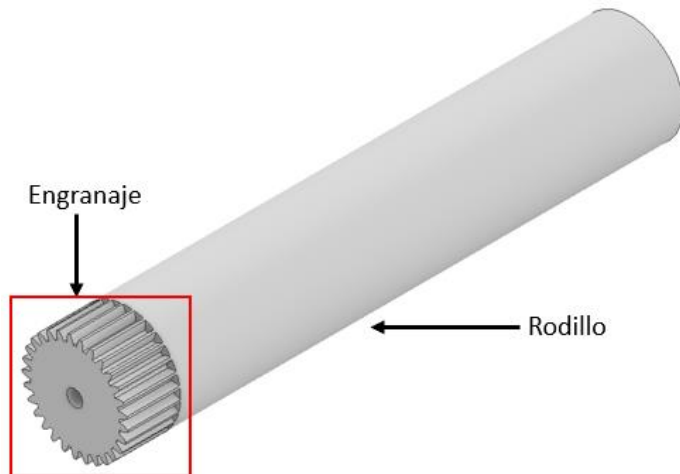


Figura 3.6 Engranaje con rodillo a lo largo del eje

Esto se mostró funcional, ya que, si fue capaz de llevar los residuos desde el agua hasta el depósito del barco, en la Figura 3.7 se observa el montaje de la banda en los rodillos, además se realizó una prueba de recolección, es decir, se transportó hojas de árboles en la banda para comprobar la funcionalidad de estas.



Figura 3.7 Validación del comportamiento de la banda transportadora

3.2 Diseño electrónico

Luego de seleccionar los sensores detectores de obstáculos, los motores actuadores y la fuente de alimentación, se realizan las conexiones al módulo NodeMCU ESP32s como se observa en la Figura 3.8. En esta se observa que los motores para las ruedas del vehículo se conectan a un driver L298N para controlar la velocidad y sentido de giro. Además, se agregó un switch de encendido y apagado del sistema general, para reducir el consumo de energía en horas de descanso.

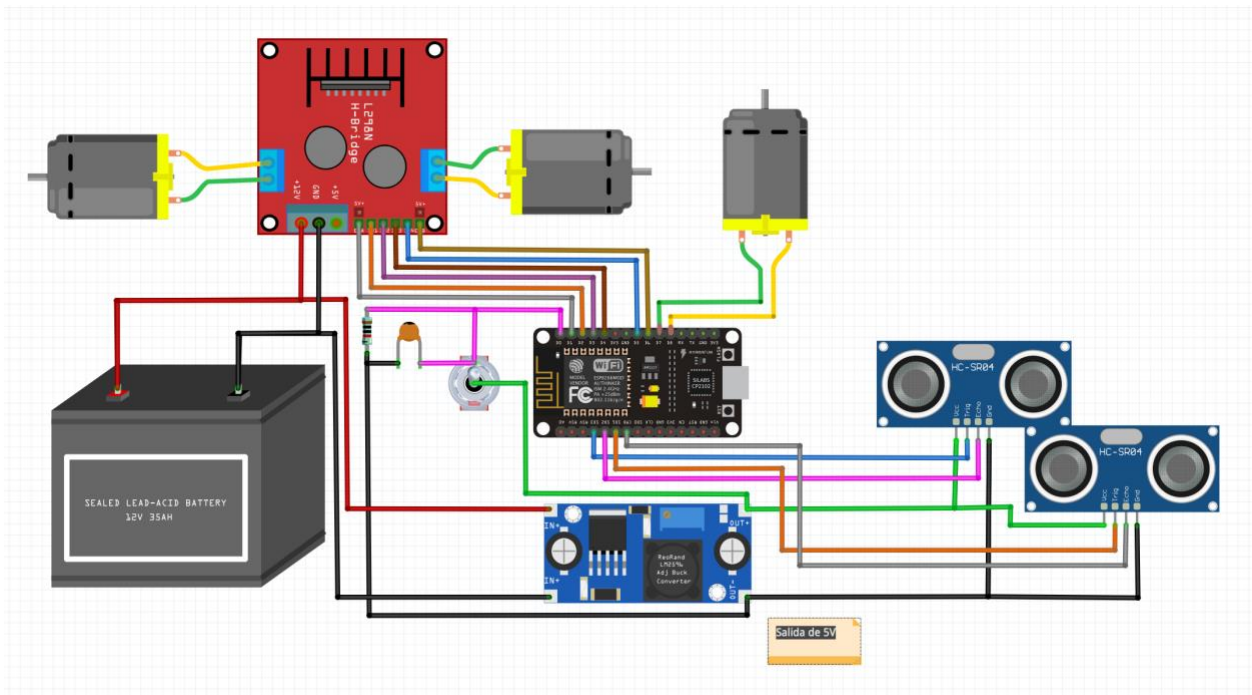


Figura 3.8 Esquema general de conexiones de hardware.

Para el control del sistema, se implementa un algoritmo de navegación manual que se conecta a la plataforma de Ubidots a través del protocolo de mensajería MQTT. Este protocolo envía y recibe señales con el uso de funciones:

- Callback: El código llama a una función externa para usarla en el código principal
- Subscribe: Permite la recepción de valores de una variable específica que se desea monitorear.
- Publish: Permite enviar valores o mensajes a la plataforma de ser necesario

El algoritmo para el control manual considera dos pulsadores para la selección de la operación, es decir autónoma y manual. Para ello se considera que su activación entrega un *payload* igual a 1.0 y su desactivación, un *payload* igual a 0.0. En el caso de ser manual, el microcontrolador permanece conectado a la plataforma para los movimientos que el usuario desea efectuar.

Al implementar el código, se recibe lo siguiente:

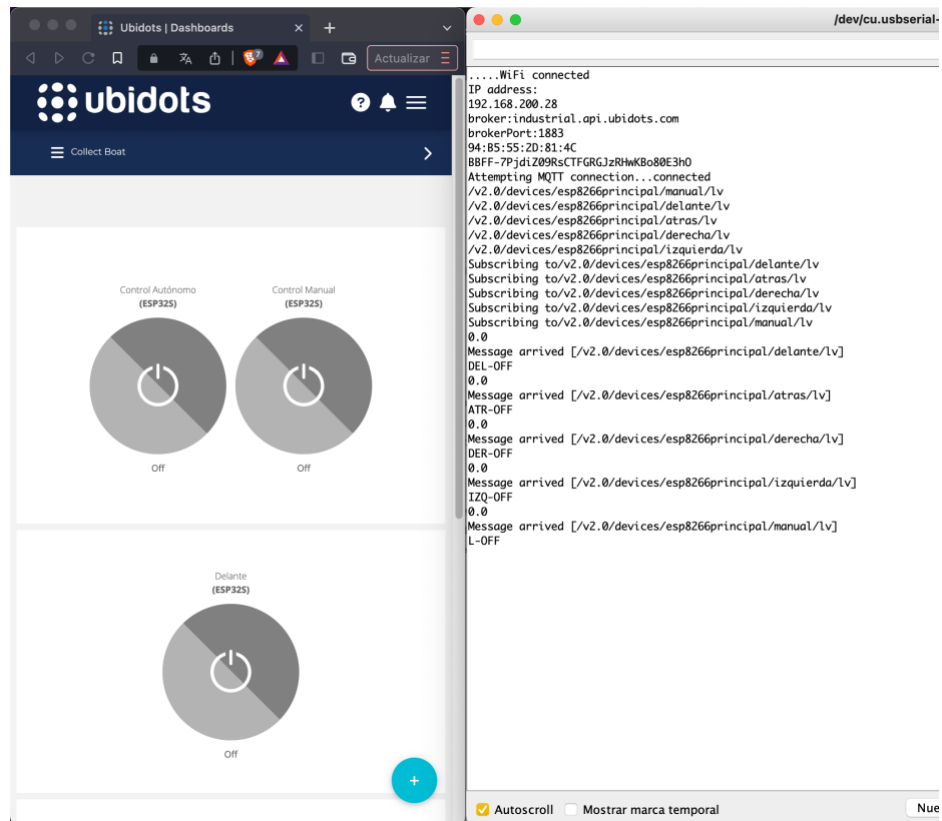


Figura 3.9 Validación de conexión con la plataforma IoT.

Como se observa en el monitor serial (Figura 3.9), se realiza una conexión exitosa entre el módulo NodeMCU y la plataforma. Además de que se suscriben todas las variables y se reciben todos los payloads con valores de 0.0.

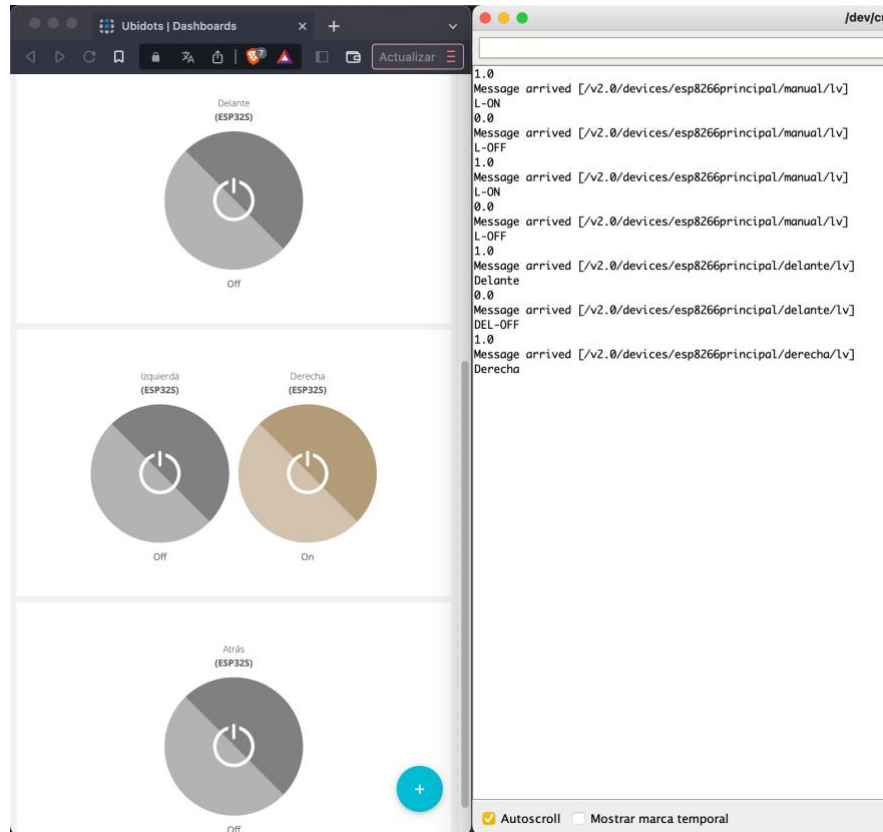


Figura 3.10 Validación de función Callback

Además, se valida la recepción de las pulsaciones de botones en la plataforma. En la Figura 3.10, el monitor serial recibe valores de 1.0 cuando el usuario selecciona un movimiento desde la plataforma.

3.3 Implementación

En esta sección se describen los resultados obtenidos de la implementación de la parte mecánica y electrónica en la piscina de un hogar.

La Figura 3.11 muestra el movimiento del vehículo en modo manual cuando se selecciona el movimiento Delante a diferentes tiempos. Como se observa, su dirección en vez de ser al frente, es diagonal. Analizando las conexiones realizadas y la programación subida al microcontrolador, se considera que el motor izquierdo no gira a la misma velocidad que el motor derecho por falla del actuador, mas no fue debido a conexiones mal realizadas o cables sin continuidad.



a) $t = 0 \text{ s}$

b) $t = 4 \text{ s}$

c) $t = 16.25 \text{ s}$

Figura 3.11 Avance del vehículo en la piscina a diferentes tiempos t .

De esta implementación, podemos calcular la velocidad de avance del vehículo, considerando la distancia recorrida.

- En $t = 0 \text{ s}$, las distancias $d_x = 0 \text{ m}$ y $d_y = 0 \text{ m}$,
- En $t_1 = 4 \text{ s}$, las distancias $d_x = 1.3 \text{ m}$, $d_y = 0.64 \text{ m}$
- En $t_2 = 16.25 \text{ s}$, la distancia $d_x = 3.5 \text{ m}$, $d_y = 2.86 \text{ m}$

Por lo que implementando las ecuaciones de movimiento rectilíneo uniforme (m.r.u), se obtienen las siguientes velocidades experimentales:

$$v = \frac{d}{t}$$

Donde d , se obtiene con la ecuación de pitágoras :

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2}$$

$$d_1 = \sqrt{1.3^2 + 0.64^2} = 1.45 \text{ m}$$

$$d_2 = \sqrt{3.5^2 + 2.86^2} = 4.52 \text{ m}$$

Entonces,

$$v_1 = \frac{d_1}{t_1} = \frac{1.45 \text{ m}}{4} = 0.3625 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 36.25 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{d_2}{t_2} = \frac{4.52 \text{ m}}{16.25} = 0.2782 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 27.82 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Calculando un promedio de velocidades, obtenemos:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$v = \frac{36.25 \frac{cm}{s} + 27.82 \frac{cm}{s}}{2}$$

$$v = 32.03 \frac{cm}{s}$$

A partir de esta información, se puede determinar el tiempo de recorrido autónomo del vehículo en una piscina 7x4 m. De esta se obtuvo la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tiempos de recorrido

Trayectoria	Tiempo	
Primer Borde	136.88 [s]	
Interior	148.12 [s]	
Interior	175 [s]	
Borde	171.88 [s]	
Total	631.88 s	11 [min]

3.4 Análisis de Costos

Es importante considerar la viabilidad económica en el sentido, que la solución planteada debe ser económicamente viable y tecnológicamente factible.

En la Tabla 3.2 se dan a conocer los costos considerando por cada área de desarrollo, mecánico, electrónico y otros.

Se observa que el apartado que más tiene valor es el de otros, en este se considera la mano de obra, este valor fue obtenido del 63% de los costos anteriores. Además, se agregó en el precio el 30% de utilidad, obteniendo que el costo final por implementación del limpiador es de \$235,56.

Tabla 3.2 Descripción de costos para la construcción e implementación del limpiador.

Tipo de Sistema	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Mecánico	Pernos M4 12 mm	12	\$ 0,05	\$ 0,60
	Varillas 3 mm x 240 mm	2	\$ 3,00	\$ 6,00
	Malla de acero inoxidable	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Electrónico	Microcontrolador NodeMCU	1	\$ 9,10	\$ 9,10
	Sensor ultrasónico HC SR04	2	\$ 2,50	\$ 5,00
	Motorreductor 3 a 6 V	3	\$ 1,40	\$ 4,20
	Motor Controlador L298N	1	\$ 3,00	\$ 3,00
	Step Down LM2596	1	\$ 2,00	\$ 2,00
	Resistencia 10K ohm	1	\$ 0,20	\$ 0,20
	Capacitor 0.1uF	1	\$ 0,10	\$ 0,10
	Slide Switch	1	\$ 3,00	\$ 3,00
	Batería Tureon PS4 12V	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Otros	Filamento PLA	1	\$ 23,00	\$ 23,00
	Jumpers y cable	1	\$ 1,00	\$ 1,00
	Cautín y estaño	1	\$ 5,00	\$ 5,00
	Impresión 3D	1	\$ 30,00	\$ 30,00
	Mano de Obra	1	\$ 70,00	\$ 70,00
Subtotal				\$ 181,20
30% Utilidad				\$ 54,36
Total				\$ 235,56

El costo de Mano de obra se obtuvo considerando que se lo realiza entre dos personas, y que al ser un modelo que se replica las veces que se construya el vehículo, se deben realizar las respectivas conexiones y el armado de la estructura.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El vehículo superficial se diseñó para suplir la necesidad de limpiar la superficie de una piscina y servir como apoyo en las tareas del hogar. Lo que llevó a diseñar en el respectivo software de diseño CAD, un modelo que cumplió con las características mecánicas, hidrostática e hidrodinámica de estabilidad ya que se logró visualizar en la implementación real, que la línea de flotabilidad se ubicaba aproximadamente en 5 cm altura medida desde la base del modelo. Además, se logró mantener a flote el vehículo en parada y en movimiento.
- La selección de actuadores fue clave para el control del movimiento, ya que se eligió un motor que, si cumplió con el par necesario para vencer la fuerza de empuje del agua a medida que se generaban turbulencias por factores externos, a su vez, la velocidad de avance de dicho motor fue la necesaria para que el vehículo haga un recorrido menor al tiempo establecido con una velocidad de 32 cm/s. Por otro lado, la selección del sensor de distancia fue acertada, ya que, a pesar de tener un rango máximo de cuatro metros, este es suficiente ya que solo tomará la distancia al momento de acercarse a un borde, evitando que se colisione.
- En lo que respecta al algoritmo para el control autónomo, se logró realizarlo para que el vehículo recorra la mayor cantidad del área de la piscina implementando dos tipos de movimientos en la parte autónoma, en donde primero el vehículo recorrió el borde y luego se movía en medio de la piscina para así recoger todos los desperdicios. En la implementación, también se confirmó que los elementos tuvieron la respectiva protección que evitó el fallo del equipo.
- El costo de implementación del diseño propuesto fue de \$235.56, este valor se lo considera rentable ya que representa el 48% del precio de venta de la competencia.

- En sistema embebido escogido fue importante ya que cumplió con el objetivo de controlar los sensores y actuadores de manera remota desde el dispositivo móvil, puesto que este microcontrolador permitió el acceso a la red local del hogar donde se encuentra la piscina, haciendo que los tiempos de respuesta sean inmediatos al momento que se enviaban las señales desde el dispositivo móvil.

4.2 Recomendaciones

- El presente trabajo se realizó un modelo que tenía pensado una limpieza superficial utilizando impresión 3D, sin embargo, se puede utilizar otro tipo de filamento como el PETG para tener mejor resistencia y mayor durabilidad. Además de esto se puede realizar un modelo que combinen materiales como acero inoxidable o acero naval con piezas impresas en 3D para que así sea un vehículo netamente de agua y que a futuro se pueda hacer un sistema para que el vehículo se pueda sumergir y así cumplir con una limpieza total de piscina.
- En el mecanismo de avance se puede considerar utilizar motores con hélices como los yates, puesto que su avance sería más rápido y exacto, además de contar con la ayuda de un análisis naval para así complementar de mejor manera las etapas del desarrollo del vehículo.
- El costo final del dispositivo es rentable, ya que considerando que se realiza en impresión 3D y que se produce a mayor escala, el precio amortiza el valor de la inversión en aproximadamente 3 años, en donde, en esta cantidad de tiempo se puede mejorar el modelo y presentar mejores propuestas sobre el diseño del vehículo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. U. e. sociotécnico, «DIT-UPM,» Junio 2006. [En línea]. Available: http://www.dit.upm.es/~fsaez/intl/libro_domotica.pdf. [Último acceso: 31 Octubre 2022].
- [2] L. C. Lima Junior, A. C. De Pina Filho y A. C. De Pina, «A Study for Cleaner Pool Robot Design,» *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, vol. 6, nº Parte 1 - Sección 5, pp. 661-670, 2014.
- [3] Gresite Piscina, «Orientación de piscinas,» Gresite Piscinas, 29 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.gresitepiscinas.com/orientacion-de-una-piscina/#:~:text=En%20t%C3%A9rminos%20generales%2C%20se%20recomienda,brillando%20con%20la%20luz%20solar..> [Último acceso: 30 Octubre 2022].
- [4] Waterair, «Waterair,» Piscinas Waterair, 2022. [En línea]. Available: <https://www.waterair.com/es/piscinas-y-equipos/piscinas/tamanos-de-piscina/#:~:text=Las%20dimensiones%20est%C3%A1ndar%20en%20el,una%20superficie%20de%2021%20m%C2%B2.> [Último acceso: 30 Octubre 2022].
- [5] Fiberpol Composites S.L., «La forma más rápida de limpiar la superficie de la piscina,» Fiberpol Design, 11 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.fiberpol.es/2022/02/11/la-forma-mas-rapida-de-limpiar-la-superficie-de-la-piscina/#:~:text=C%C3%B3mo%20eliminar%20las%20manchas%20en%20la%20superficie%20de%20la%20piscina&text=Es%20recomendable%20utilizar%20productos%20para,las%20superficies%2.> [Último acceso: 30 Octubre 2022].
- [6] K. Lereico, «Mansión de las ideas,» Mansión de las ideas, 17 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.lamansiondelasideas.com/hogar-y-manualidades/limpiar-el-agua-verde-de-una-piscina/>. [Último acceso: 1 Enero 2023].
- [7] A. Quirós Villalba, «Todo Disca,» Todo Disca, 24 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.tododisca.com/cada-cuanto-tiempo-limpiar-piscina/>. [Último acceso: 4 Enero 2023].
- [8] Fiberpol Composites S.L., «Como saber cual es la mejor red para limpiar piscinas,» Fiberpol Design, 14 Enero 2022. [En línea]. Available:

- <https://www.fiberpol.es/2022/01/14/como-saber-cual-es-la-mejor-red-para-limpiar-piscinas/>. [Último acceso: 31 Octubre 2022].
- [9] C. Valero, «AZadsl Zone,» Zona Firework, 18 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/drones/tipos-drones/>. [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [10] R. Adeva, «Drones de ala fija,» Topes de Gama, 11 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://topesdegama.com/listas/gadgets/drones-ala-fija>. [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [11] Aero Camaras, «Curso De Drones,» Aero Camaras, 6 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://cursodedrones.es/drones-acuaticos-tipos-y-como-funcionan/>. [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [12] Spotmydive, «Gladius Mini,» Spotmydive, 14 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.spotmydive.com/en/gear/gladius-mini-the-second-generation-of-underwater-drones>. [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [13] Pipetech Ecuador S.A., «Dragas y Recolectores,» Carzua, 2015. [En línea]. Available: <https://www.pipetechecuador.com/productos/>. [Último acceso: 30 Octubre 2022].
- [14] A. Pérez, «Limpieza y Ecologismo Acuático,» Híbridos Y electricos, 11 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/acuerdo-razer-clearbot-crear-robot-autonomo-que-limpie-desechos-marinos/20210610210006045907.html>. [Último acceso: 30 Octubre 2022].
- [15] R. S. Sanketh, «Drives Differential Drive,» Manual Robotics, 22 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://medium.com/manual-robotics/drives-76c2b2dac97c>. [Último acceso: 08 02 2023].
- [16] Robots Aspiradores, «Robots Aspiradoress,» s.f. s.f. s.f.. [En línea]. Available: <https://robotsaspiradoress.com/blog/como-funciona-un-robot-aspirador/>. [Último acceso: 7 Enero 2023].
- [17] A. Marchante, «3D Natives,» 8 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/pla-abs-material-impresion-3d-080820222/#!>. [Último acceso: 14 Diciembre 2022].
- [18] M. Gutiérrez y J. Quinatoa, «Universidad Técnica de Cotopaxi Biblioteca General,» s.f. s.f. 2012. [En línea]. Available:

<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1328>. [Último acceso: 2023 Diciembre 2022].

- [19] Dynamo Electronics, «Dynamo Electronics,» Dynamo Electronics, s.f. s.f. s.f.. [En línea]. Available: <https://dynamoelectronics.com/tienda/esp32s-board-desarrollo-con-wifi-bluetooth/>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [20] S. Electronics, «All Datasheet,» s.f. s.f. s.f.. [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1132203/ETC2/HC-SR04.html>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [21] Electro Crea, «ElectroCrea,» s.f. s.f. s.f.. [En línea]. Available: <https://electrocrea.com/products/motorreductor-amarillo-para-llanta-65x28-mm>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [22] Components 101, «Components101,» 13 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://components101.com/modules/l293n-motor-driver-module>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [23] J. Wilson, «The Engineering Projects,» 27 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.theengineeringprojects.com/2020/09/lm2596-buck-converter-datasheet-pinout-features-applications.html>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [24] BG Telecom, «BG Telecom,» s.f. s.f. s.f.. [En línea]. Available: <https://bgtelecom.com.ec/product/bateria-recargable-12v-4amp-tureon/>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [25] E. Sasig, «Roboticoss,» 24 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://roboticoss.com/modelo-cinematico-y-simulacion-con-python-robot-movil-diferencial/>. [Último acceso: 08 Diciembre 2022].
- [26] [En línea]. Available: <https://www.theengineeringprojects.com/2020/09/lm2596-buck-converter-datasheet-pinout-features-applications.html>.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Dispositivos electrónicos del robot limpiador

- **NodeMCU ESP32S:** El microcontrolador del vehículo, cuyo modelo se muestra en la Figura A.1, es el encargado de recibir las señales enviadas desde Ubidots. Este microcontrolador tendrá en su memoria almacenado el algoritmo de control de los sensores y actuadores, así como también la trayectoria autónoma que tendrá el vehículo. Sus especificaciones se presentan en la Tabla A.1.



Figura A.1 NodeMCU ESP32S [19]

Tabla A.13 Especificaciones de la ESP32S [19]

Especificaciones	Datos
CPU	Xtensa single/dual core 32 bit
RAM	520 kb
Pines	32 GPIO - 16 PWM
Voltaje de operación	5 V

- **HC SR04:** Este sensor se encargará de medir la distancia hasta los obstáculos, enviando los datos al microcontrolador para la respectiva trayectoria autónoma. Su modelo se presenta en la Figura A.2 y sus características se presentan en la Tabla A.2.



Figura A.2 HC SR04 [20]

Tabla A.2 Especificaciones del HC SR04 [20]

Especificaciones	Datos
Voltaje de operación	5 V
Rango de detección	2 a 450 cm
Ángulo	30°
Dimensiones	45mm x 20mm x 15mm
Peso	10 g

- **Motorreductor:** El motor de la que transmitirá los movimientos a las ruedas del vehículo y también a la banda transportadora. En la Figura A.3 se observa el modelo y en la Tabla A.3 sus especificaciones.



Figura A.3 Motorreductor [21]

Tabla A.3 Especificaciones del Motorreductor [21]

Especificaciones	Datos
Voltaje de operación	6 a 8 V
Velocidad máxima sin carga	170 RPM
Par máximo	800g/cm
Dimensiones	70mm x 36mm x 22mm
Peso	27 g

- **L298N:** En la Figura A.4 se muestra el driver que controlará el sentido de giro y la velocidad de los motores. En la Tabla A.4 se presentan sus especificaciones.

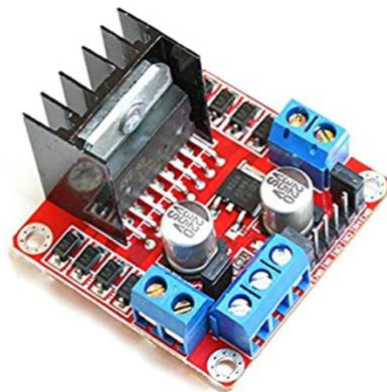


Figura A.4 L298N [22]

Tabla A.4 Especificaciones del L298N [22]

Especificaciones	Datos
Voltaje de operación	5 o 12 V
Potencia Máxima	25 W
Voltaje Lógico	5 V
Dimensiones	43mm x 43mm x 26mm
Peso	26 g

- **LM2596:** El regulador de voltaje que se muestra en la Figura A.5 se encargará de disminuir el voltaje de la batería para alimentar al microcontrolador y otros componentes. En la Tabla A.5 se presentan sus especificaciones.

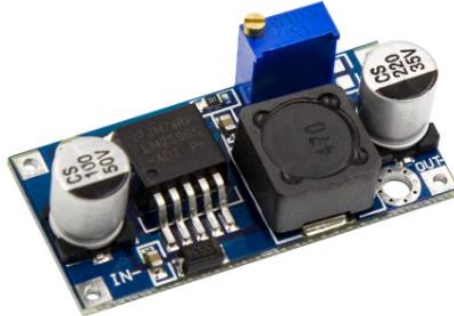


Figura A.5 StepDown LM2596 [23]

Tabla A.5 Especificaciones del LM2596 [23]

Especificaciones	Datos
Voltaje de operación	4 a 38 V
Voltaje de salida	1.25 a 36 V
Eficiencia de conversión	96%
Dimensiones	66mm x 39mm x 18mm
Peso	24 g

- **Batería 12 V:** La batería se muestra en la Figura A.6, es la encargada de alimentar el circuito electrónico de control. Sus características se muestran en la Tabla A.6.



Figura A.6 Batería 12V [24]

Tabla A.6 Especificaciones de la Batería [24]

Especificaciones	Datos
Voltaje de operación	12 V
Ciclo de uso	14.5 a 14.9 V
Uso en espera	13.6 a 13.8 V
Corriente inicial	1.2 A
Dimensiones	89mm x 98mm x 69mm

APÉNDICE B

Diseño de Engranajes

Para los engranajes es necesario empezar definiendo ciertos parámetros necesarios para sus respectivos diseños. Empezando por la velocidad de salida a la que se quiere llegar conociendo la velocidad de entrada. Los datos son los siguientes.

- **Velocidad de entrada:** 99 rpm
- **Velocidad de salida deseada:** 64 rpm
- **Número de dientes de engranaje de entrada:** 18

Según AGMA, es recomendable tener un ángulo de presión de 20° para el diseño de engranajes. A ambos engranajes se los diseñó con módulo 1 puesto que, al utilizar un motorreductor, su eje principal es pequeño, además de tener que conectar ambos engranajes en un espacio reducido para colocar una banda transportadora.

Se calcula el diámetro primitivo del engranaje conductor considerando el número de dientes de entrada y el módulo. Cabe recalcar que todos los cálculos se los dejará en la unidad de medida mm.

$$D_p = Z * M$$

$$D_p = 18 * 1$$

$$D_p = 18 \text{ mm}$$

Con el módulo de 1 también se establece que el tamaño de la cabeza de diente para ambos engranajes es de 1 mm. Se obtiene el valor del pie del diente que es la distancia a la que se asentarán los dientes de los engranajes.

$$P_D = 1.25 * M$$

$$P_D = 1.25 * 1$$

$$P_D = 1.25 \text{ mm}$$

Así mismo, se obtuvieron los valores de paso circular P_C y espesor del diente S , es decir el ancho de contacto del diente.

$$P_C = \pi * M$$

$$P_C = \pi * 1$$

$$P_C = 3.14 \text{ mm}$$

Con los datos iniciales del engranaje conductor, se obtiene la cantidad de dientes y el diámetro primitivo del engranaje conducido mediante las fórmulas de relación de engranaje, teniendo así:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$Z_2 = \frac{N_1 Z_1}{N_2}$$

$$Z_2 = \frac{99 \text{ rpm} * 18 \text{ dientes}}{64 \text{ rpm}}$$

$$Z_2 = 28 \text{ dientes}$$

Del mismo modo, se calcula el diámetro primitivo del engranaje conducido, lo que nos da como resultado:

$$D_P = Z * M$$

$$D_P = 28 * 1$$

$$D_P = 28 \text{ mm}$$

En lo que respecta al paso circular y la cabeza del diente, es igual que los del engranaje conductor. Posteriormente se calcula el tamaño de la cabeza del diente que tiene que ser la misma del engranaje conducido para lo cual se tiene:

$$P_D = 1.25 * M$$

$$P_D = 1.25 * 1$$

$$P_D = 1.25 \text{ mm}$$

Al utilizar impresión 3D, se pudo diseñar en el mismo engranaje conducido, un rodillo, esto con la finalidad de tener una mayor área de contacto con la banda transportadora ya que se tiene mayor fricción, de esta forma no existirá deslizamiento por parte de esta.

En lo que respecta al análisis del cilindro, se tiene lo siguiente.

$$\sum \vec{F} = m * \vec{a}$$

$$T + f = m * a \quad (1)$$

$$\sum \vec{\tau} = I * \vec{\alpha}$$

$$T * R - f * R = \frac{1}{2} m * R^2 * \alpha$$

Condición de rodadura

$$a = \alpha * R$$

$$T * R - f * R = \frac{1}{2} m * R^2 * \frac{a}{R}$$

$$T * R - f * R = \frac{1}{2} m R * a$$

$$a = \frac{2T * R}{mR} - \frac{2f}{m} \quad (2)$$

Sustituyendo la ecuación 2 en 1.

$$T + f = m \left(\frac{2T * R}{mR} - \frac{2f}{m} \right)$$

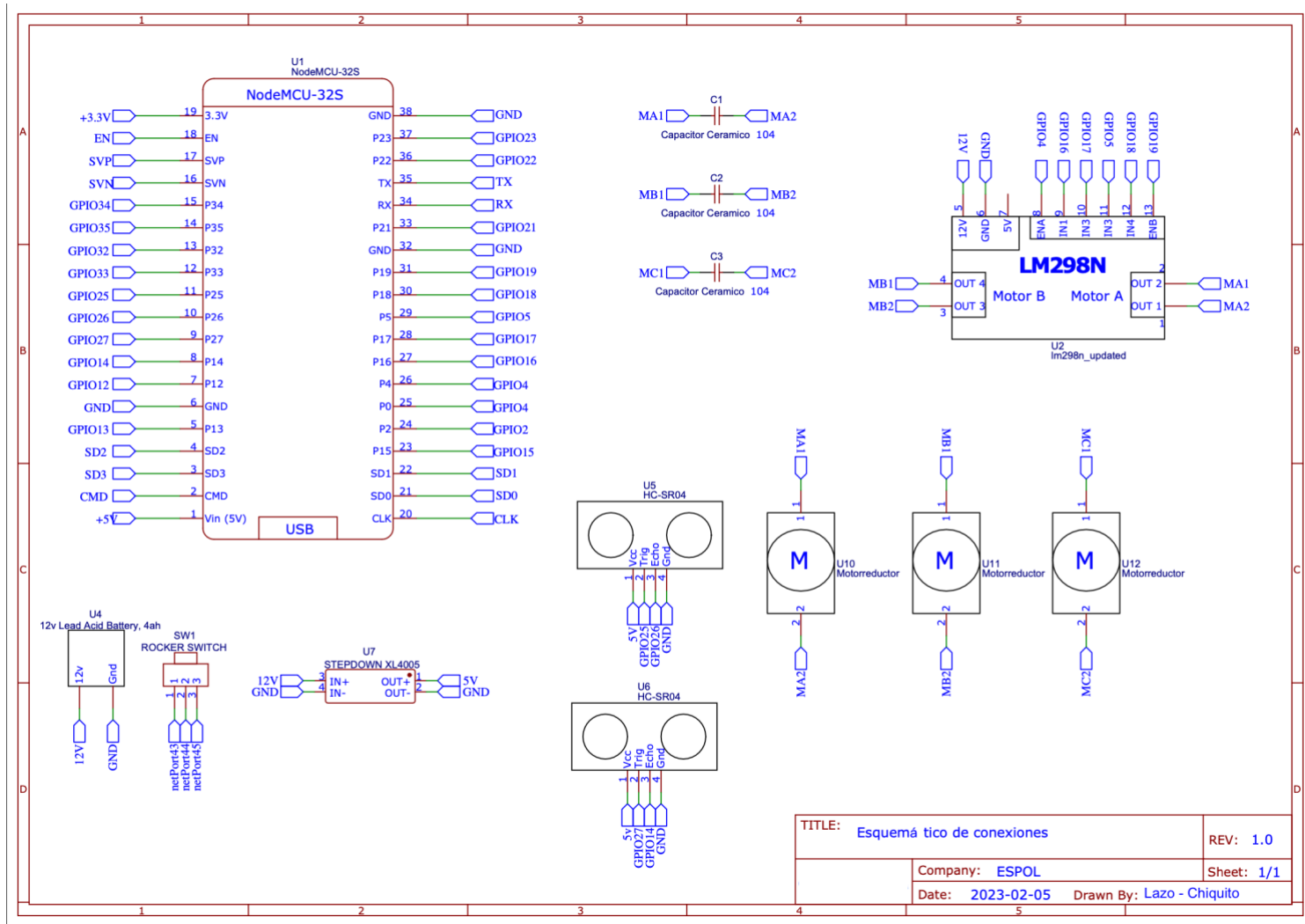
$$T + f = 2T - 2f$$

$$f = \frac{T}{3}$$

De esta forma el valor de la fricción es la tercera parte de la fuerza T que se ejerce sobre la banda y así se asegura que siempre existirá rozamiento y se evitará que se resbale la banda sobre los rodillos, permitiendo así la recolección de objetos.

APÉNDICE C

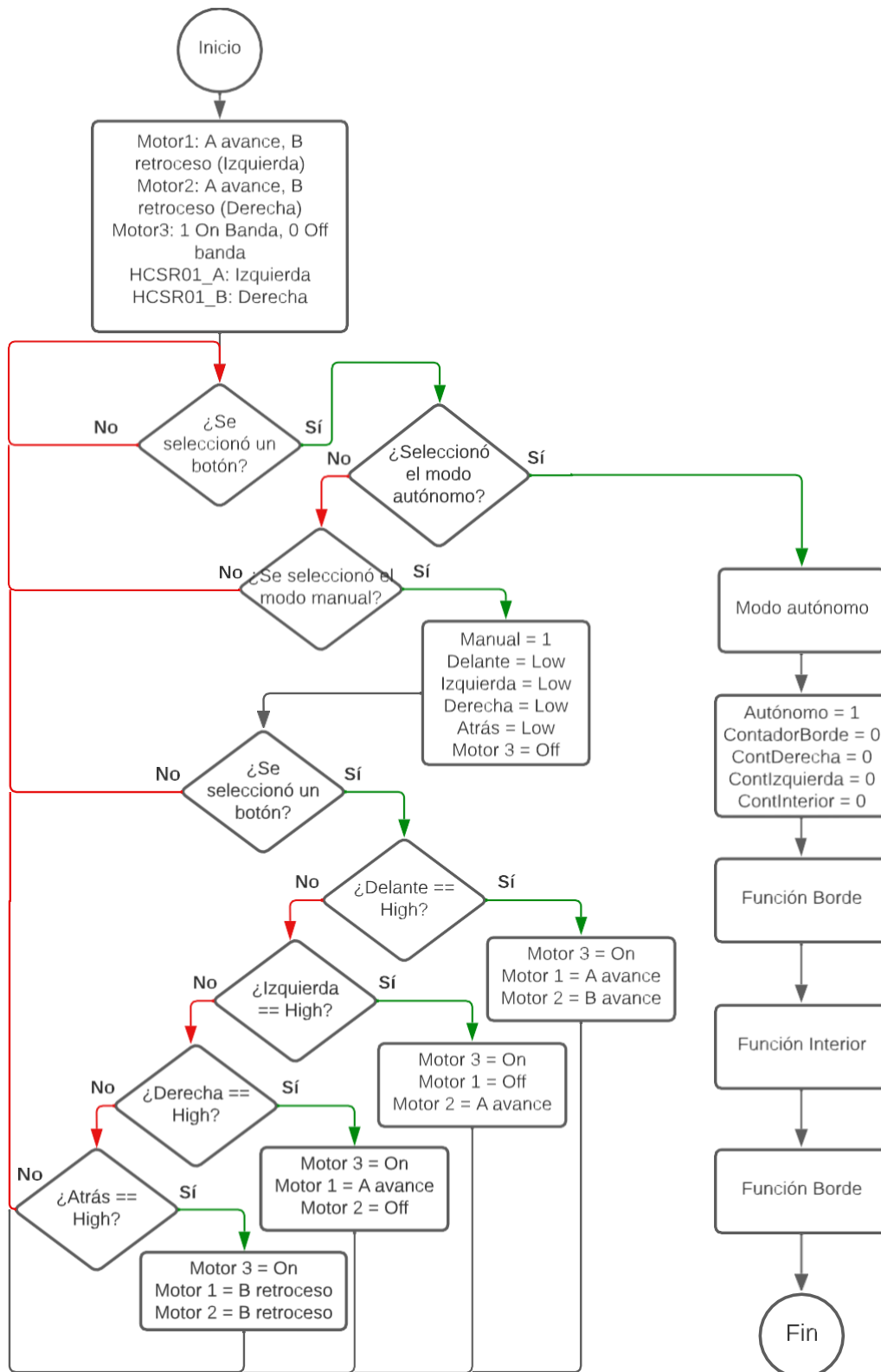
Diseño esquemático de la solución



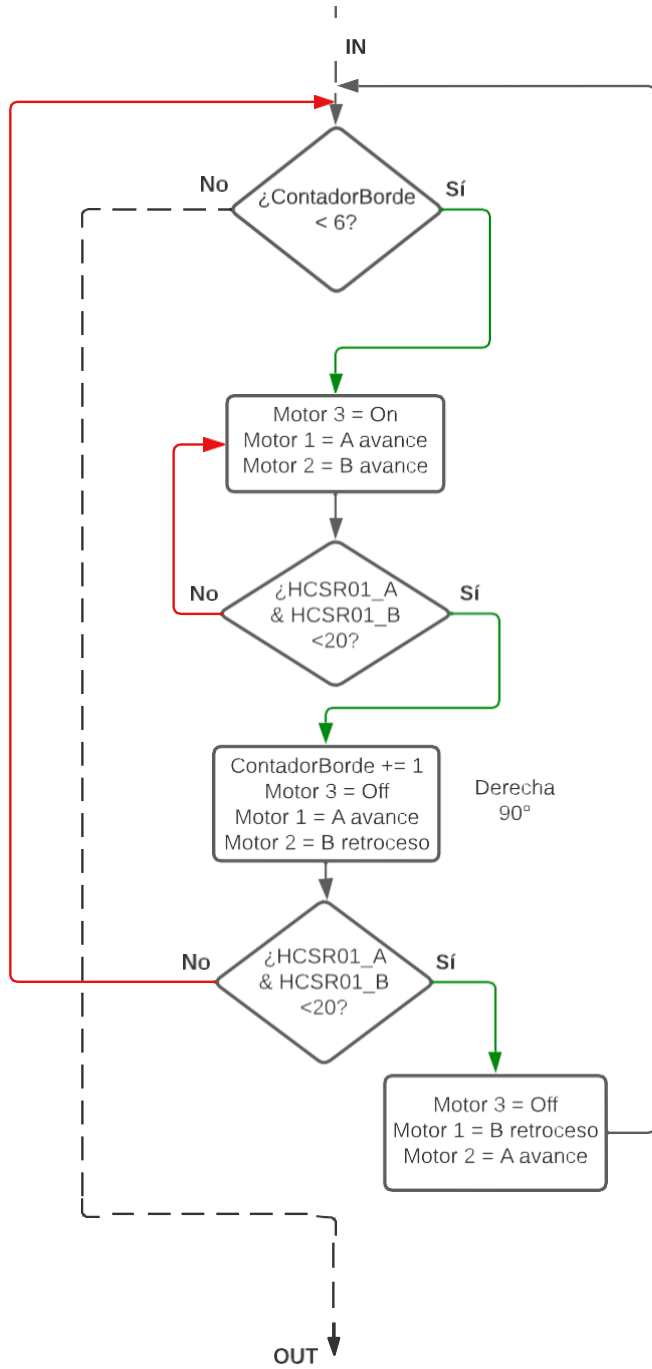
APÉNDICE D

Diagrama de bloques del algoritmo de programación

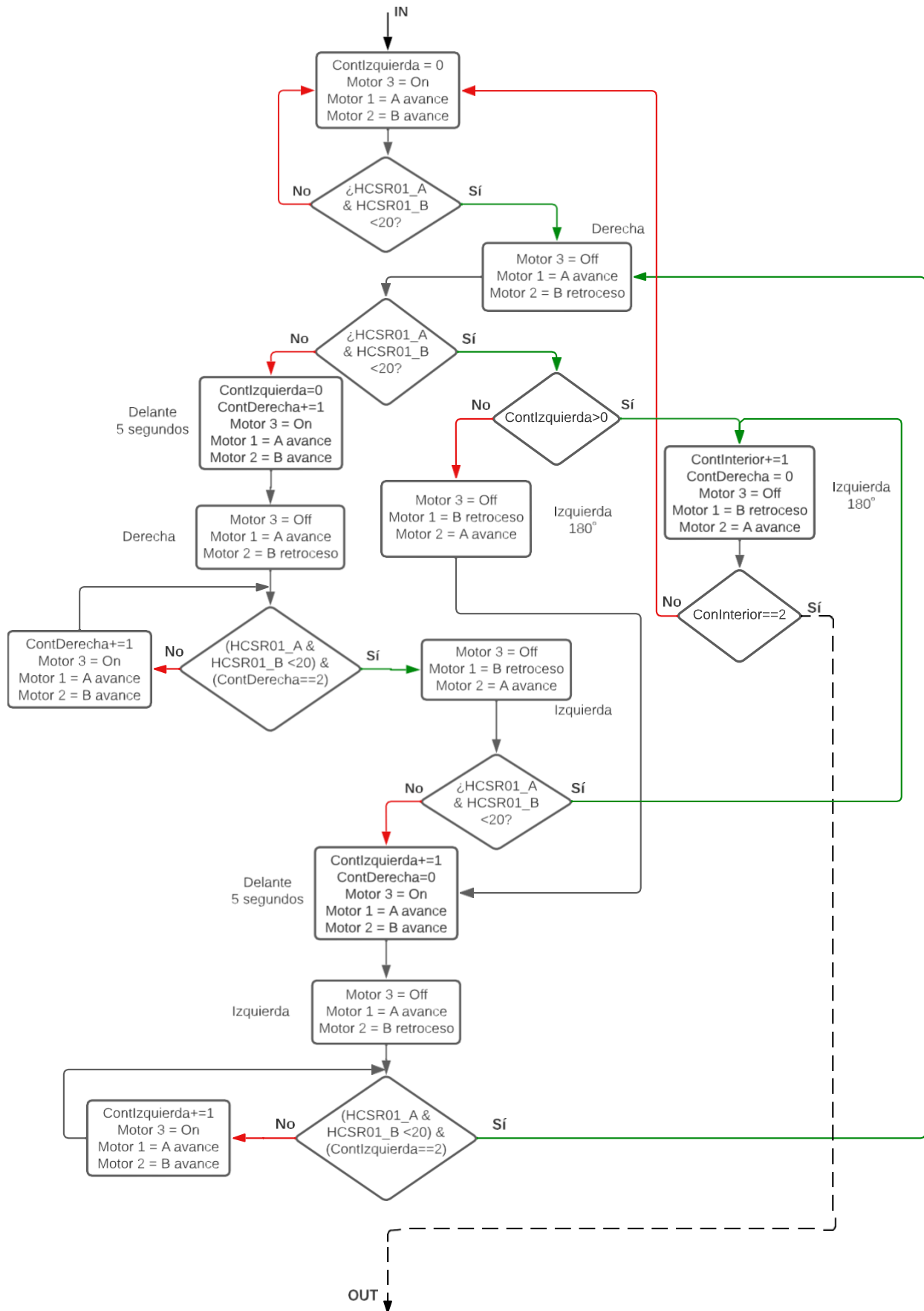
Función Principal



Función Borde



Función Interior



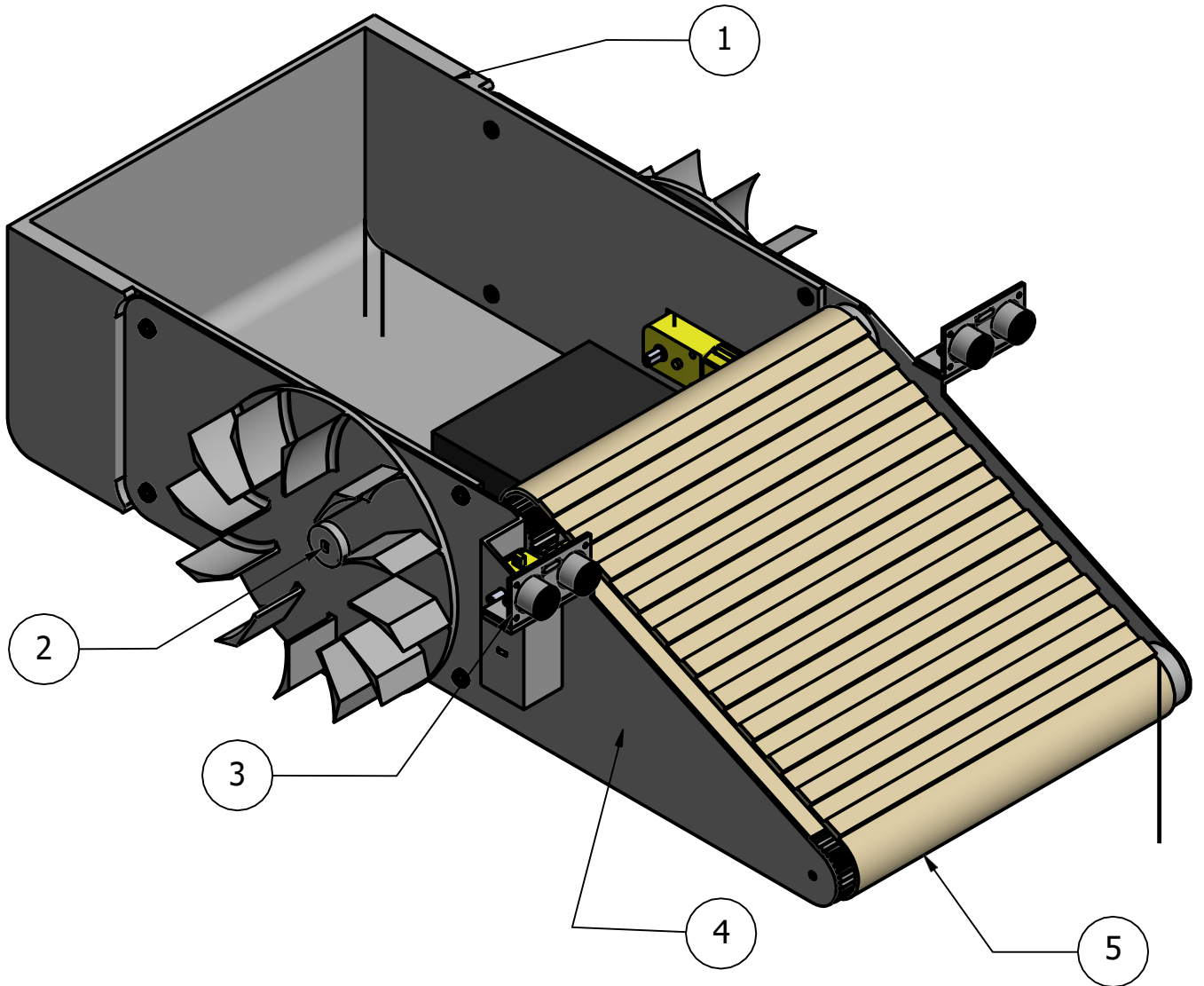
APÉNDICE E

Enlace de Github de la programación

<https://github.com/BrandonLR1999/Materia-Integradora-G2-Collect-Boat.git>

APÉNDICE F

Planos de diseño mecánico



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CANTIDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Caja Trasera
2	1	Rueda Derecha
3	2	Base Ultrasonico
4	1	Tapa Derecha
5	1	Banda Transportadora

espol

Ensamble Parte 1

Hoja:

A4

Escala:

1 : 3

Autores:

Milena Chiquito
Brandon Lazo

Revisado por:

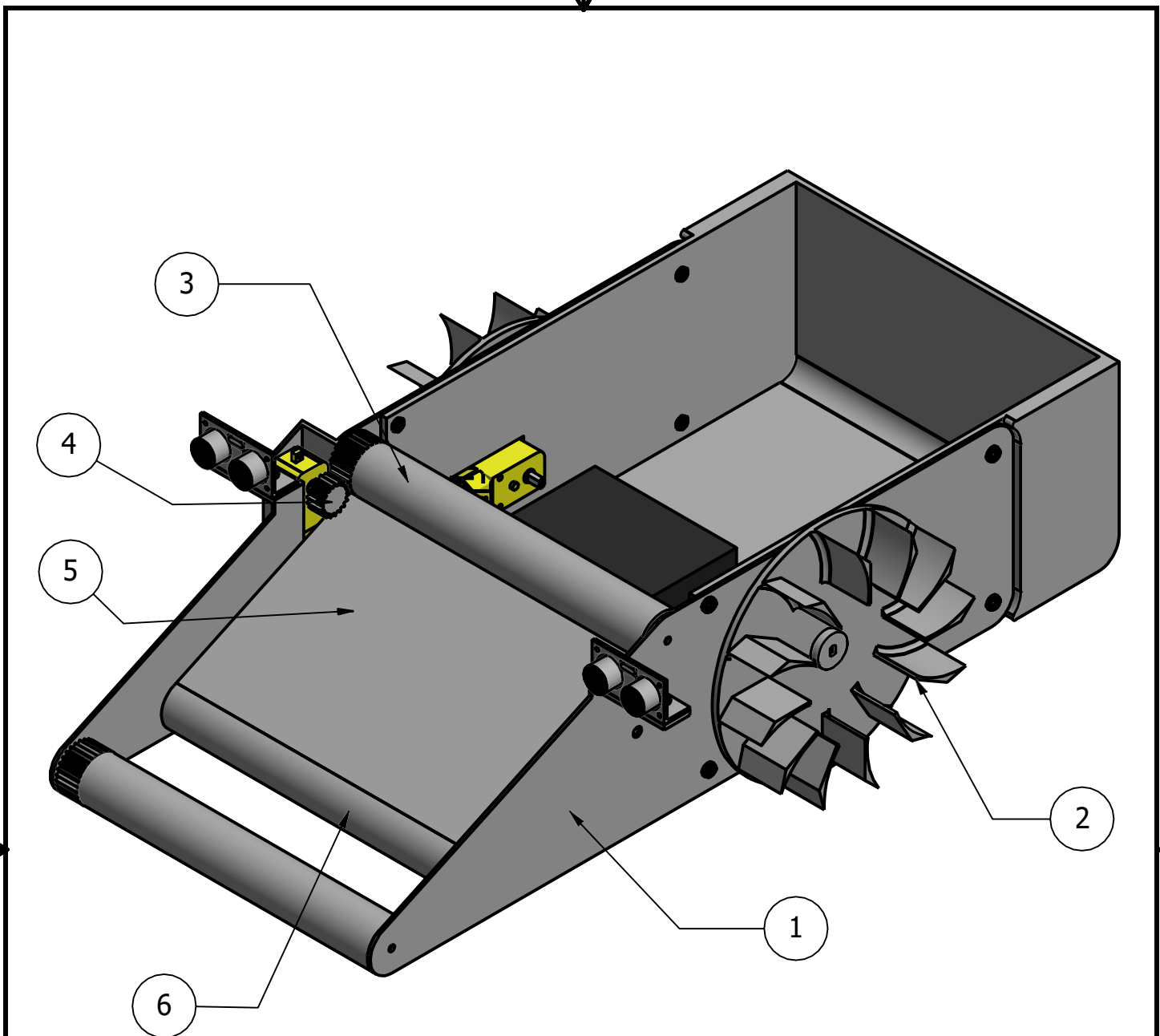
PhD. Marcelo Fajardo.
PhD. Jorge Hurel

Unidades:

mm

Página:

1 de 12



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CANTIDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Tapa Izquierda
2	1	Rueda Izquierda
3	2	Engranaje Conducido
4	1	Engranaje Conductor
5	1	Tapa Delantera
6	1	Frente

espol

Ensamble Parte 2

Hoja:

A4

Escala:

1 : 3

Autores:

Milena Chiquito
Brandon Lazo

Revisado por:

PhD. Marcelo Fajardo.
PhD. Jorge Hurel

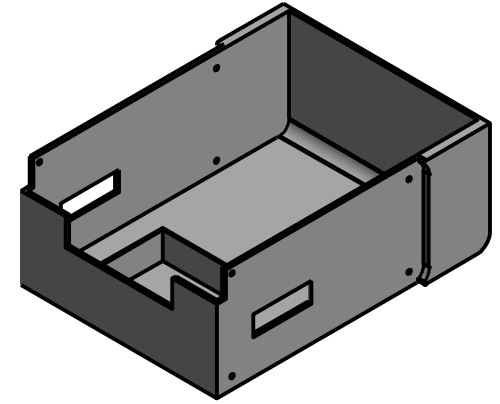
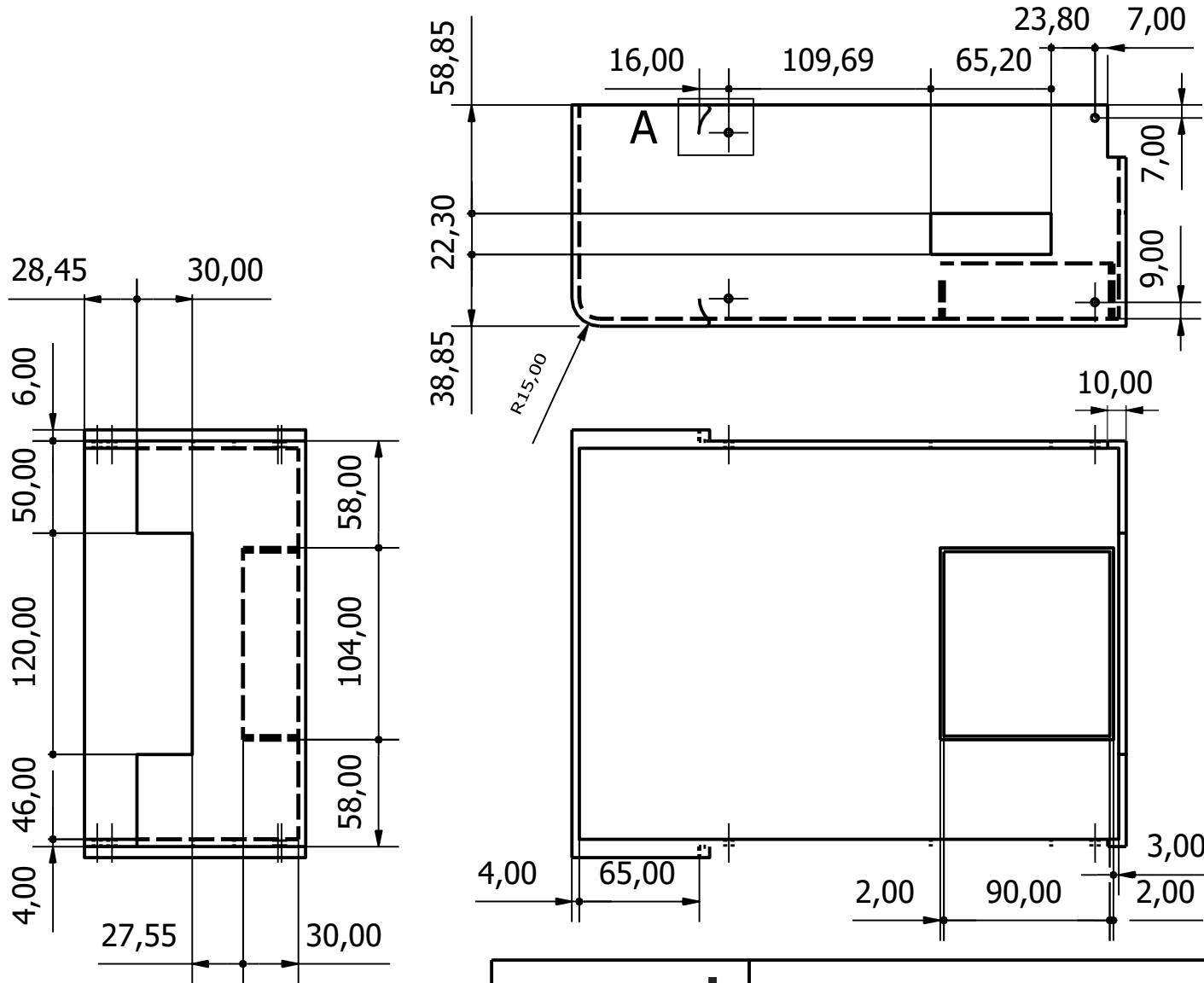
Unidades:

mm


Página:

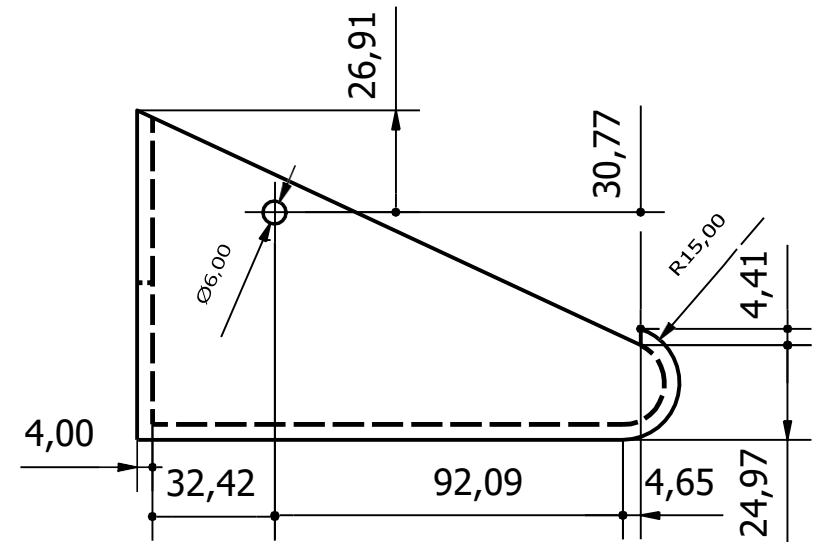
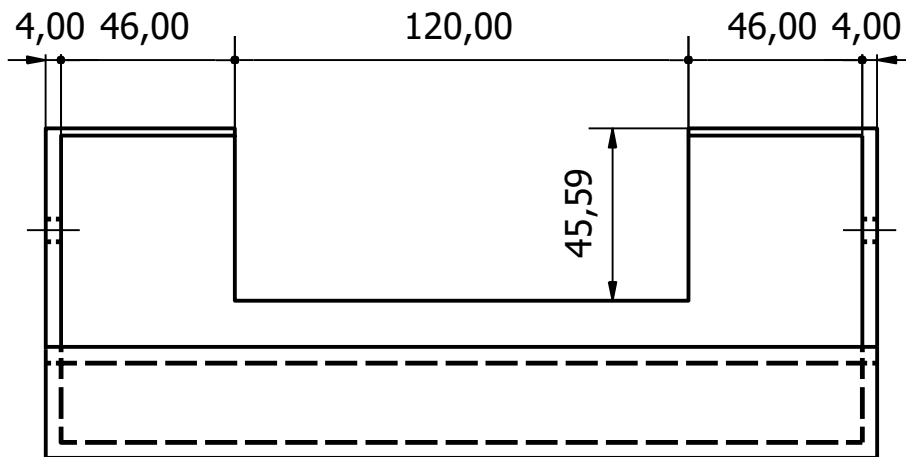
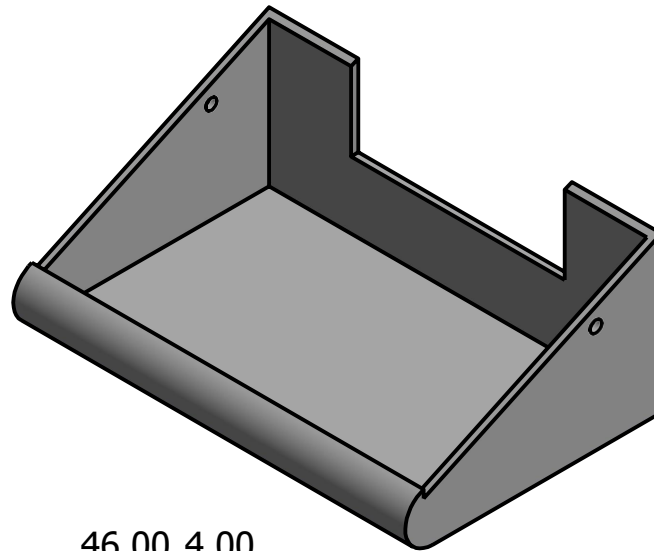
2 de 12




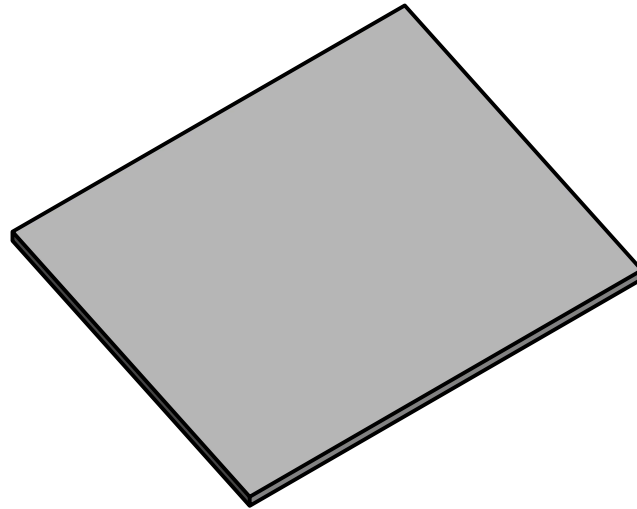


A (2:3)

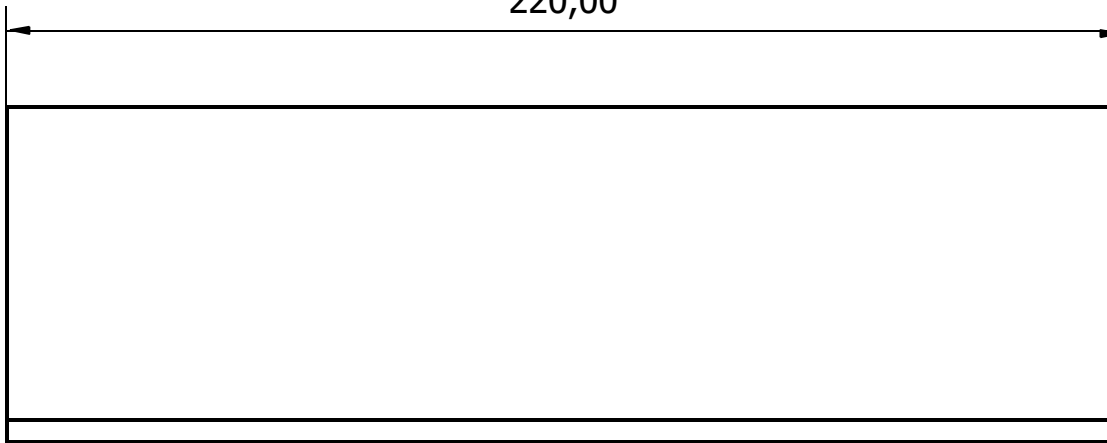
	Caja Trasera	Hoja:	Escala:
		A4	2:7
Autores: Milena Chiquito Brandon Lazo		Revisado por: Ph.D. Marcelo Fajardo. Ph.D. Jorge Hurel	Unidades: mm
			Página: 3 de 12



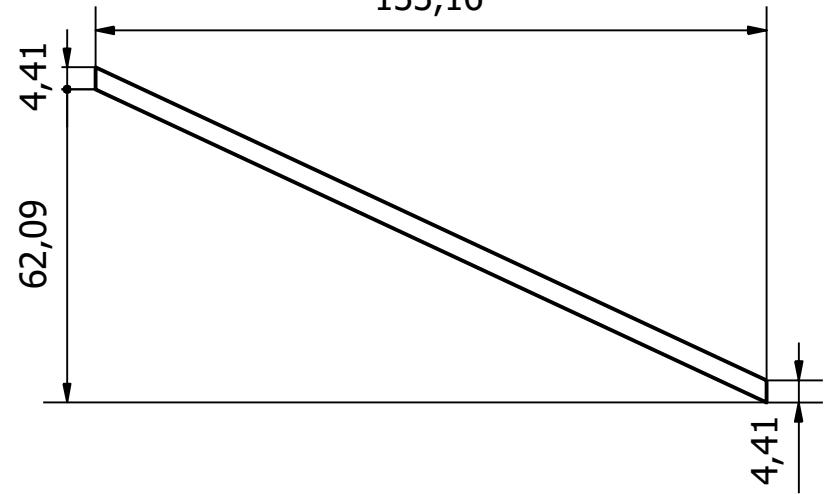
	<h2 style="text-align: center;">Caja Delantera</h2>	Hoja: <h3 style="text-align: center;">A4</h3>	Escala: <h3 style="text-align: center;">1:2</h3>
Autores: <h3 style="text-align: center;">Milena Chiquito Brandon Lazo</h3>	Revisado por: <h3 style="text-align: center;">PhD. Marcelo Fajardo. PhD. Jorge Hurel</h3>	Unidades: <h3 style="text-align: center;">mm</h3>	Página: <h3 style="text-align: center;">4 de 12</h3>




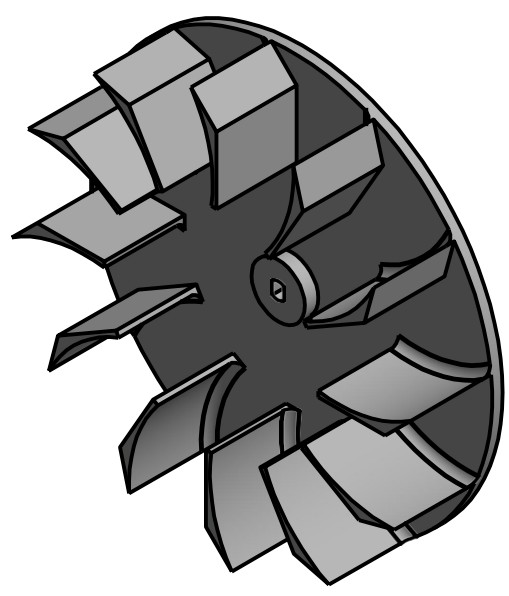
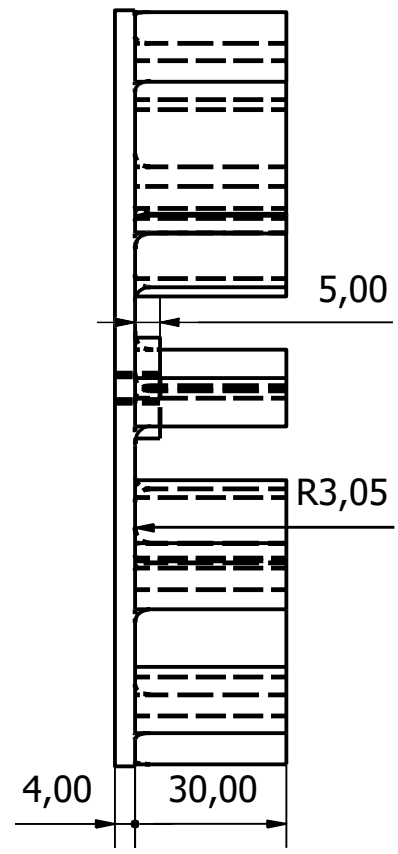
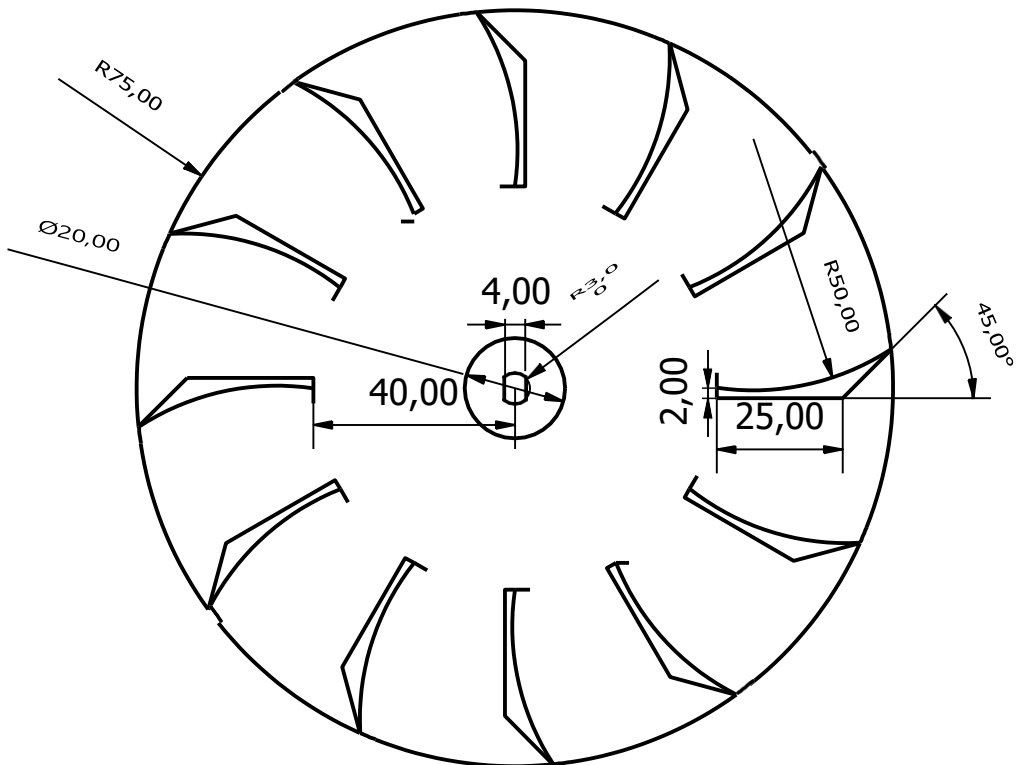
220,00



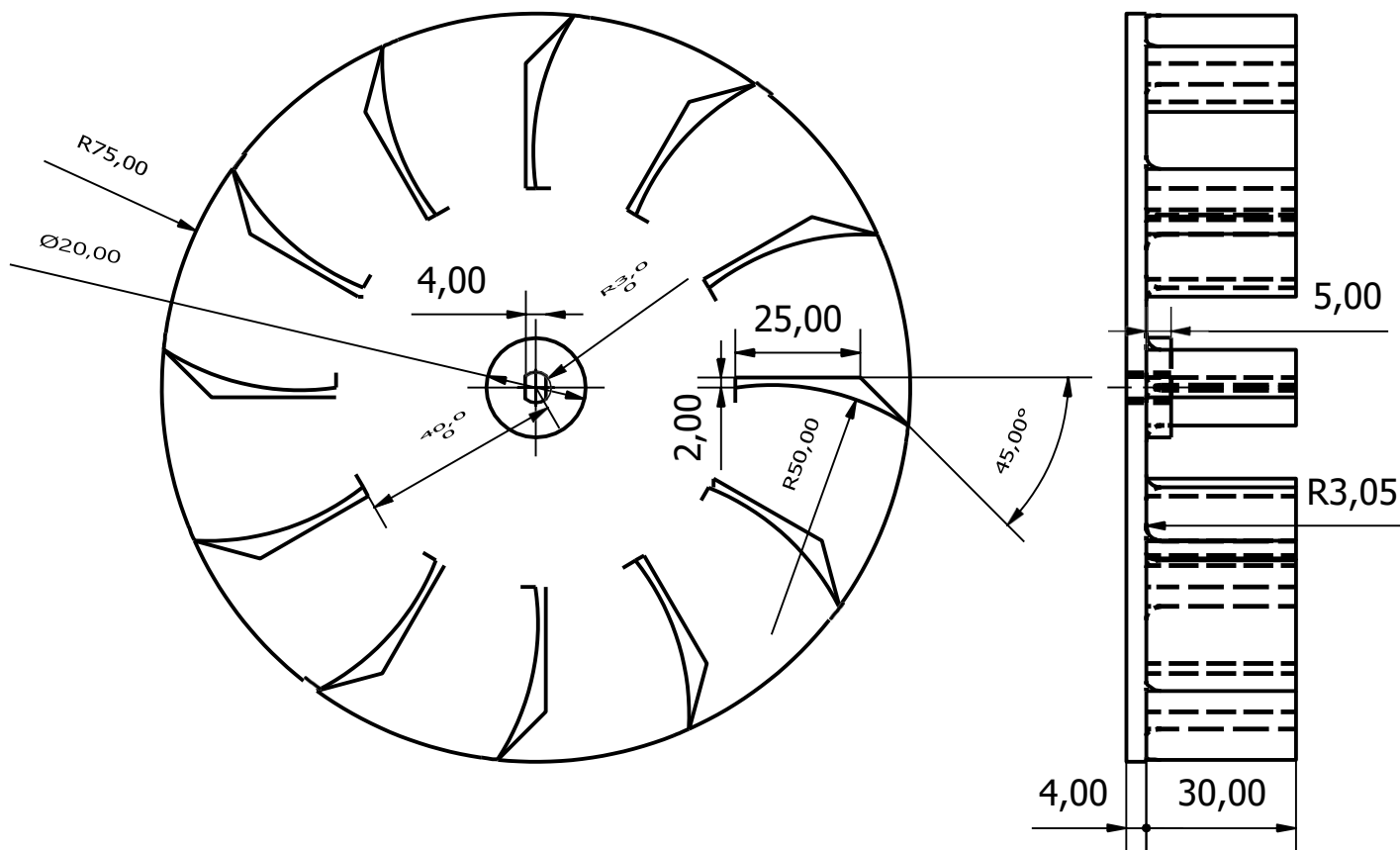
133,16



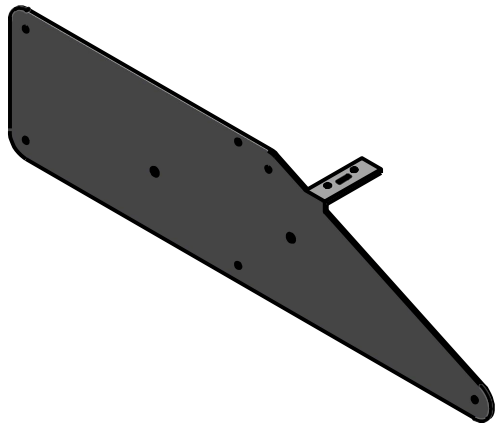
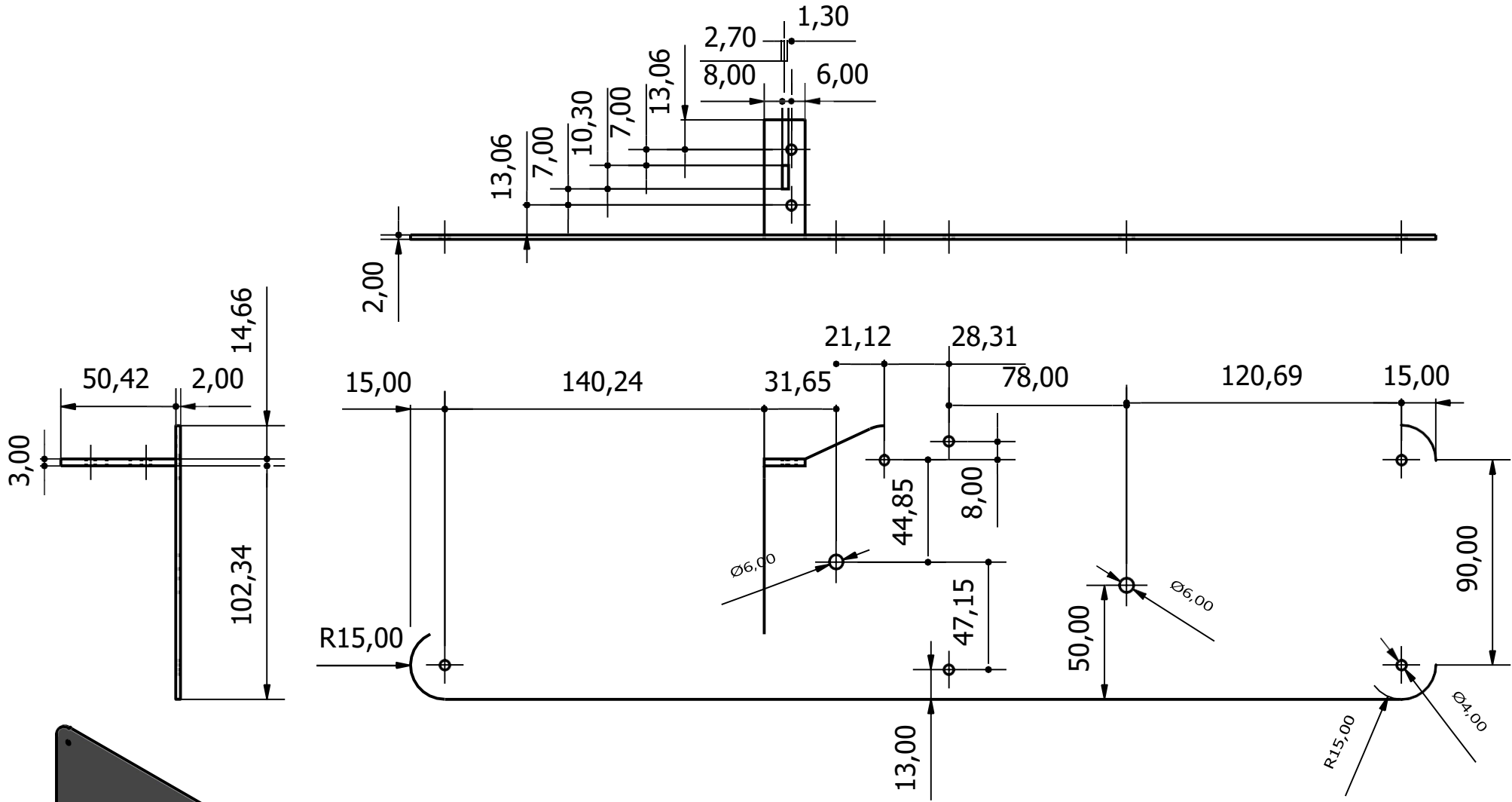
	Tapa Delantera		Hoja: A4	Escala: 2:3
	Autores: Milena Chiquito Brandon Lazo		Revisado por: PhD. Marcelo Fajardo. PhD. Jorge Hurel	Unidades: mm Página: 5 de 12




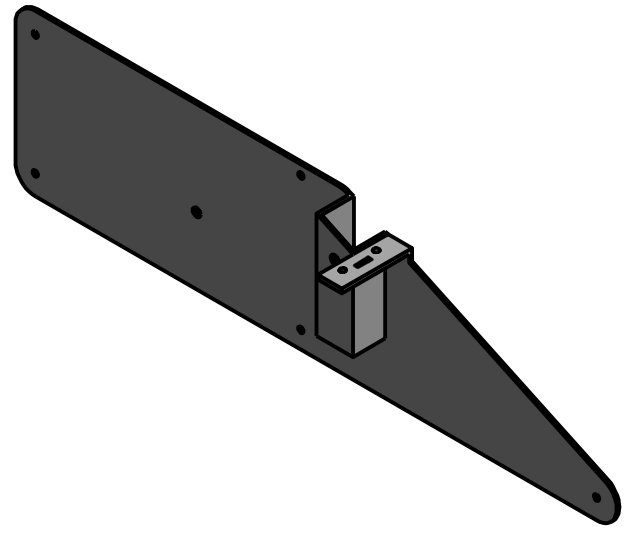
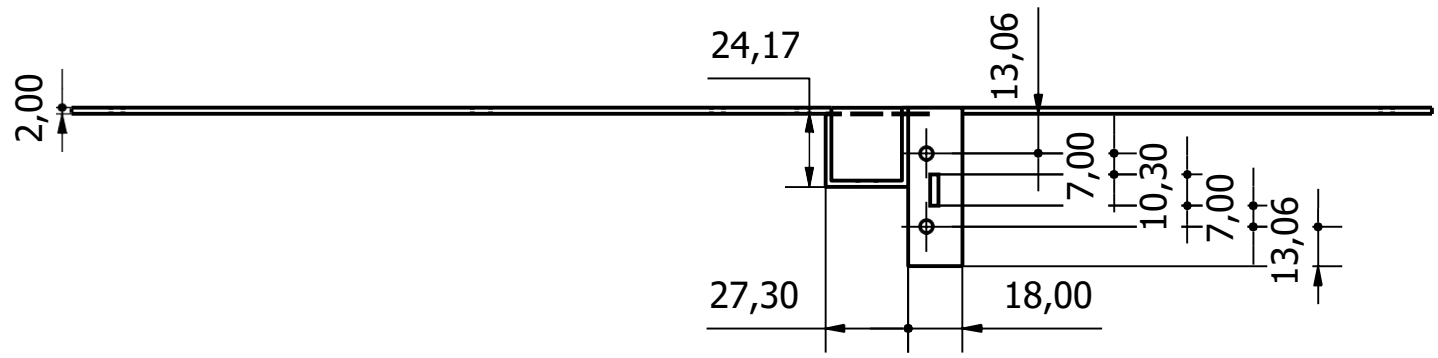
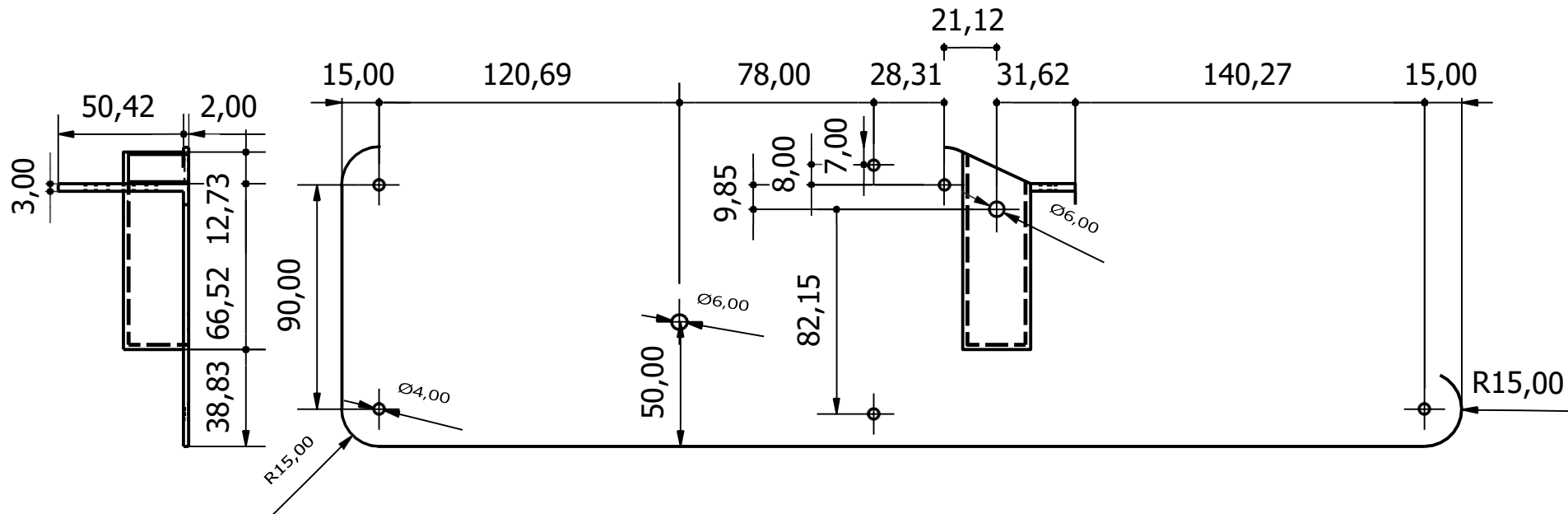
	<h3>Rueda Izquierda</h3>	Hoja: A4	Escala: 2:3
Autores: Milena Chiquito Brandon Lazo	Revisado por: PhD. Marcelo Fajardo. PhD. Jorge Hurel	Unidades: mm	Página: 6 de 12




	<h1>Rueda Derecha</h1>	Hoja: A4	Escala: 2:3
Autores: Milena Chiquito Brandon Lazo	Revisado por: PhD. Marcelo Fajardo. PhD. Jorge Hurel	Unidades: mm	Página: 7 de 12

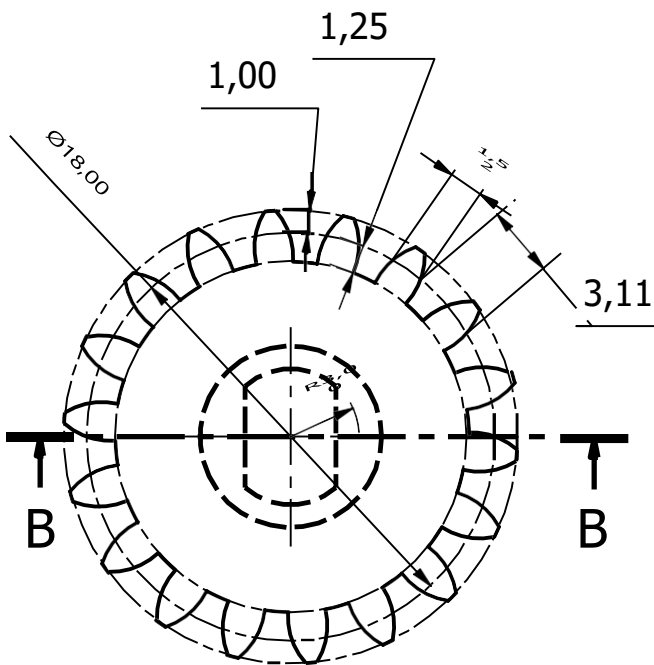
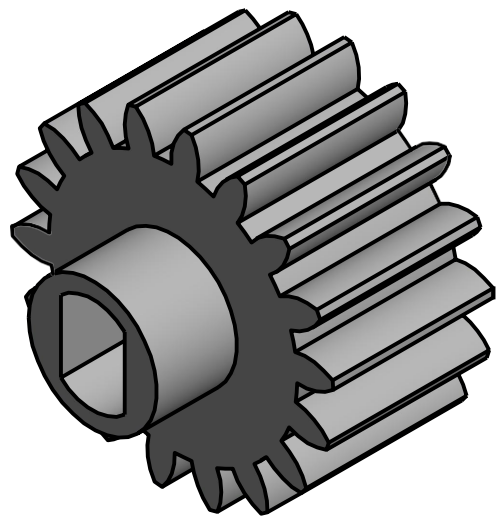
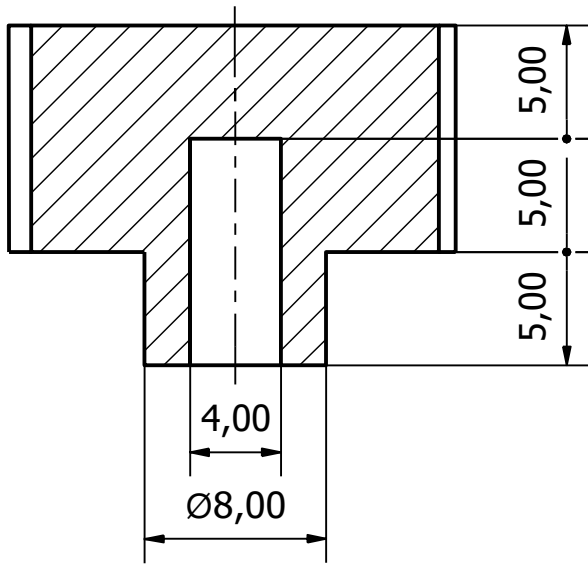


	<h2 style="text-align: center;">Tapa Izquierda</h2>	Hoja: <h3 style="text-align: center;">A4</h3>	Escala: <h3 style="text-align: center;">2:5</h3>
Autores: <h3 style="text-align: center;">Milena Chiquito Brandon Lazo</h3>	Revisado por: <h3 style="text-align: center;">PhD. Marcelo Fajardo. PhD. Jorge Hurel</h3>	Unidades: <h3 style="text-align: center;">mm</h3>	Página: <h3 style="text-align: center;">8 de 12</h3>



	Tapa Derecha		Hoja: A4	Escala: 2:5
	Autores: Milena Chiquito Brandon Lazo		Revisado por: PhD. Marcelo Fajardo. PhD. Jorge Hurel	Unidades: mm

B-B (3:1)



espol

Engranaje Conductor

Hoja:
A4

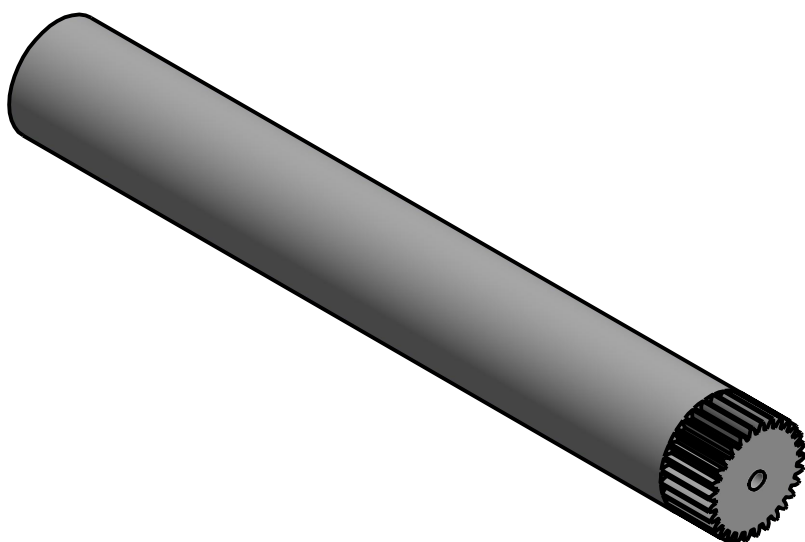
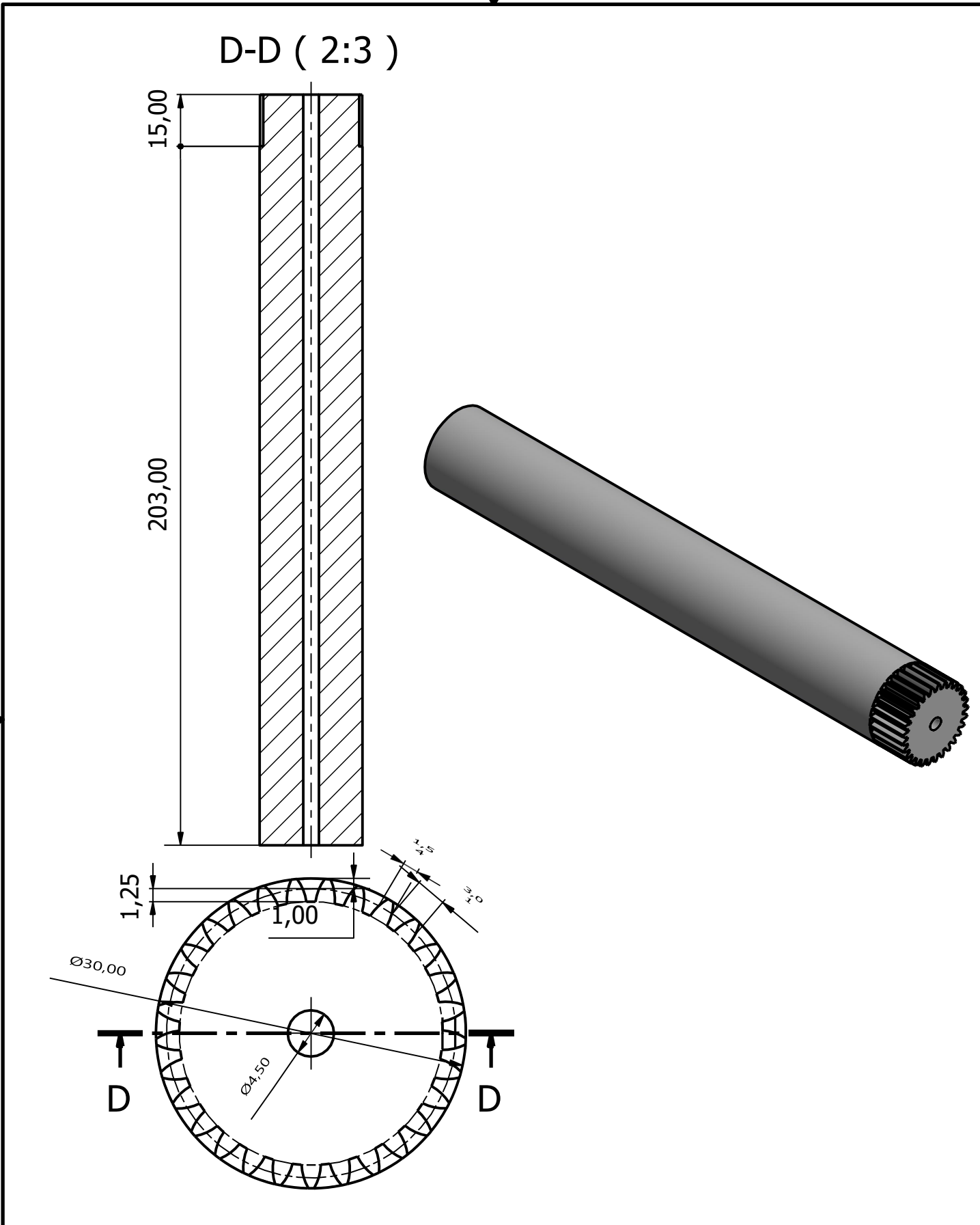
Escala:
3:1

Autores:
Milena Chiquito
Brandon Lazo

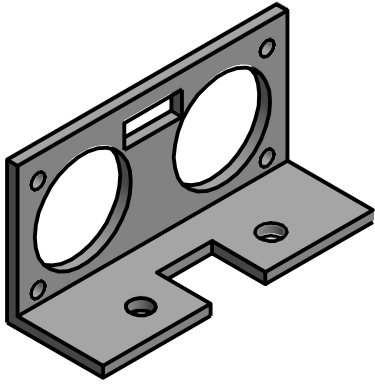
Revisado por:
PhD. Marcelo Fajardo.
PhD. Jorge Hurel

Unidades:
mm

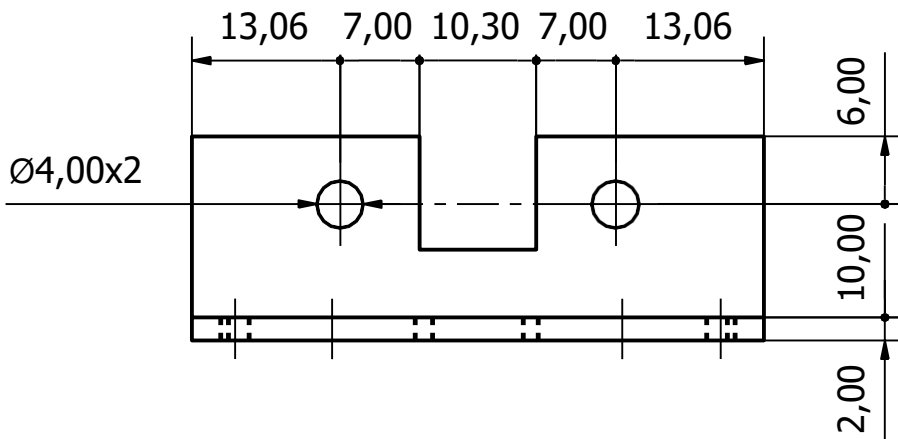
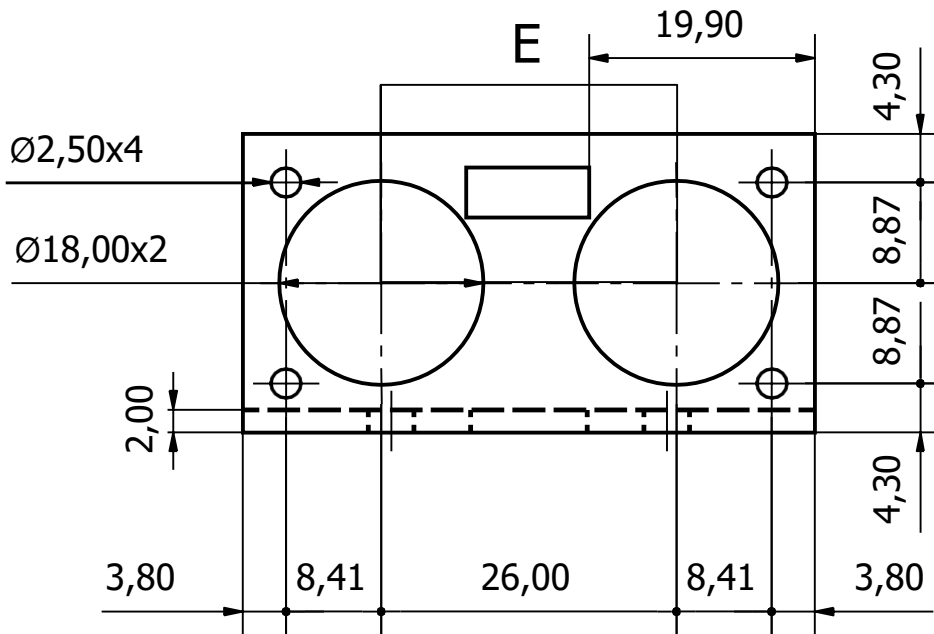
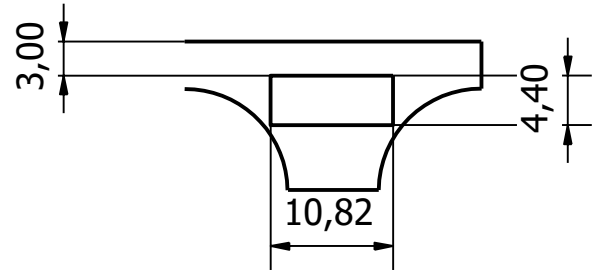
Página:
10 de 12



	<p>Eje Conducido</p>	<p>Hoja: A4</p>	<p>Escala: 2:1</p>
<p>Autores: Milena Chiquito Brandon Lazo</p>	<p>Revisado por: PhD. Marcelo Fajardo. PhD. Jorge Hurel</p>	<p>Unidades: mm</p>	<p>Página: 11 de 12</p>



E (3 : 2)



espol

Base Ultrasónico

Hoja:
A4

Escala:
3:2

Autores:
Milena Chiquito
Brandon Lazo

Revisado por:
PhD. Marcelo Fajardo.
PhD. Jorge Hurel

Unidades:
mm

Página:
12 de 12