

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

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

Diseño de un sistema de aireadores autónomos para piscinas camaroneras

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecatrónica**

Presentado por:

Jefferson Lenin Jara Pilco

Jonathan del Jesús Zamora López

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## Dedicatoria

---

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, Yoan Zamora y Janette López, a mi hermano, Johans Zamora, y a mi abuela Francisca Crespo, quienes con su cariño me han apoyado y guiado de forma incondicional durante toda mi vida.

A mi tía Yisel Zamora, mis primos, Liam y Liamna Barrios, mis abuelos, Mercedes y Pepe, y a mi tía Kenia, que desde Cuba me alentaron siempre a seguir adelante.

También a mis amigos más cercanos, Victoria, Nicole, Génesis, Iván, Benjamín, Dareck, Bangner, Cristóbal, Arturo, que durante este proceso estuvieron pendientes de nuestro proyecto.

**Jonathan del Jesús Zamora López**

## **Dedicatoria**

---

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, Guillermo Jara y Carmita Pilco y a mis hermanos, Robinson Jara y Anthony Jara. A mis tutores que supieron enseñarme y guiarme en el transcurso de la carrera. A mis amigos más cercanos que ayudaron y apoyaron.

**Jefferson Lenin Jara Pilco**

## Agradecimientos

---

Mi más sincero agradecimiento a mi familia por ser la luz guía en mi vida y brindarme su apoyo, por motivarme a ser cada día mejor.

Al MSc. Eloy Moncayo y al MSc. Bryan Puruncajas por todo su apoyo y constancia durante el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos cercanos y compañeros con quienes he compartido mi vida universitaria.

A mi compañero Jefferson Jara por su constancia y arduo trabajo durante este proceso.

**Jonathan del Jesús Zamora López**

## Agradecimientos

---

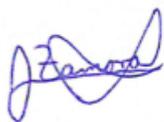
Agradezco a mis padres, Segundo Jara y Carmita Pilco que me apoyaron incondicionalmente en el transcurso de este proyecto. A mis hermanos y amigos por sus consejos y respectivas ayudas en diversos temas tratados. A las respectivas instituciones y empresas que supieron dar guía a dudas e incertidumbres relacionadas con el diseño del proyecto. Finalmente agradezco a mi compañero de tesis Jonathan Zamora por la paciencia y responsabilidad en cada fase para el cumplimiento del proyecto.

**Jefferson Lenin Jara Pilco**

## Declaración Expresa

---

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (nombre de los participantes) y doy(damos) mi(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”



Jonathan del Jesús  
Zamora López



Jefferson Lenin Jara  
Pilco

## **Evaluadores**

---

**Bryan Puruncajas, M.Sc.**

Profesor de Materia

---

**Eloy Moncayo, M.Sc.**

Tutor de proyecto

## Resumen

En este proyecto, diseñamos un sistema de aireación autónomo para piscinas camaroneras con el propósito de mantener niveles óptimos de oxígeno disuelto y favorecer el crecimiento saludable de los camarones. Utilizando energía solar fotovoltaica, implementamos una solución eficaz y sostenible que aborda estos desafíos. Esta iniciativa es especialmente relevante en el contexto de la cría intensiva de camarones en Ecuador, donde la escasez de oxígeno disuelto y las regulaciones ambientales rigurosas han impulsado la necesidad de sistemas de aireación autónomos. Durante el desarrollo del proyecto, abordamos aspectos clave para su éxito. Diseñamos los componentes mecánicos del sistema aireador siguiendo las normas ASME y NEC para garantizar calidad y seguridad. Además, diseñamos elementos esenciales para el sistema fotovoltaico y desarrollamos una lógica de control para ajustar los niveles de oxígeno disuelto en tiempo real. Los resultados incluyen el ensamblaje de los componentes, análisis de la estructura del panel solar y del aireador de paletas, simulación del sistema fotovoltaico y un análisis de costos. Validamos que el sistema puede transferir 2-3 kg O<sub>2</sub>/h y mantener los niveles de oxígeno disuelto en un rango óptimo de 4 a 6 mg/L. En resumen, hemos diseñado, seleccionado y validado con éxito un sistema de aireación autónomo que mejora la cría de camarones en piscinas camaroneras, promoviendo la sostenibilidad y la competitividad en el sector.

**Palabras Clave:** Sistema fotovoltaico, oxígeno disuelto, NEC, ASME

### **Abstract**

In this project, we designed an autonomous aeration system for shrimp ponds to maintain optimal dissolved oxygen levels and support healthy shrimp growth. Using photovoltaic solar energy, we implemented an efficient and sustainable solution that addresses these challenges. This initiative is especially relevant in the context of intensive shrimp farming in Ecuador, where dissolved oxygen scarcity and stringent environmental regulations have driven the need for autonomous aeration systems. During the development of the project, we addressed key aspects for its success. We designed the mechanical components of the aeration system according to ASME and NEC standards to ensure quality and safety. In addition, we designed essential elements for the photovoltaic system and developed control logic to adjust dissolved oxygen levels in real time. Deliverables include component assembly, analysis of the solar panel and paddle aerator structure, simulation of the PV system, and a cost analysis. We validated that the system can transfer 2-3 kg O<sub>2</sub>/h and maintain dissolved oxygen levels in an optimum range of 4 to 6 mg/L. In summary, we have successfully designed, selected and validated an autonomous aeration system that improves shrimp farming in shrimp ponds, promoting sustainability and competitiveness in the sector.

**Keywords:** Photovoltaic system, dissolved oxygen, NEC, ASME.

## Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i> .....	<u>II</u>
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VII
Simbología.....	VIII
Índice de figuras.....	X
Índice de tablas.....	XII
Capítulo 1.....	1
1.    Introducción.....	2
1.1    Descripción del problema.....	3
1.2    Justificación del problema.....	4
1.3    Objetivos.....	5
1.3.1    Objetivo general.....	5
1.3.2    Objetivos específicos.....	5
1.4    Marco teórico.....	5
1.4.1    El cultivo de camarones en Ecuador como método de ingreso de divisas.....	5
1.4.2    Oxígeno disuelto: Definición y Características.....	7
1.4.3    Impacto ocasionado por el uso de aireadores en camaroneras.....	9

1.5	Estado del arte .....	12
1.5.1	Aireadores de paleta:.....	13
1.5.2	Aireadores con sistema de difusión de aire: .....	14
1.5.3	Aireadores tipo splash:.....	14
Capítulo 2	.....	16
2.	Metodología .....	17
2.1	Selección de la alternativa de solución .....	17
2.2	Proceso de diseño .....	20
2.3	Requerimientos de diseño .....	22
2.4	Diseño conceptual .....	23
2.5	Parámetros de diseño mecánico .....	24
2.5.1	Selección de paletas .....	24
2.5.2	Selección de flotadores .....	27
2.5.3	Selección de motorreductor .....	28
2.5.4	Dimensionamiento del eje.....	31
2.5.5	Diseño de las estructuras de soporte .....	32
2.5.6	Selección de soporte y rodamientos para el eje .....	35
2.6	Parámetros de monitoreo y control .....	39
2.6.1	Selección de sensores.....	39
2.6.2	Selección de controlador.....	40

2.6.3	Arquitectura de control .....	42
2.7	Parámetros de diseño eléctrico .....	45
2.7.1	Selección de panel solar .....	45
2.7.2	Selección de Regulador Solar .....	48
2.7.3	Selección de Batería.....	49
2.7.4	Peso por componente .....	50
Capítulo 3.....		53
3.	Resultados y análisis .....	54
3.1	Diseño sistema mecánico .....	54
3.1.1	Ensamblaje final.....	54
3.1.2	Análisis de la estructura del panel solar.....	55
3.1.3	Análisis de la estructura del aireador de paletas. ....	56
3.2	Resultados de diseño de control .....	57
3.2.1	Diagrama de conexiones del sistema de control.....	57
3.2.2	Diagrama de flujo lógico. ....	58
3.3	Resultados de diseño eléctrico .....	59
3.3.1	Sistema fotovoltaico.....	59
3.3.2	Diagrama de Conexiones del Sistema Fotovoltaico .....	62
3.4	Análisis de costos .....	63
Capítulo 4.....		66
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	67

4.1	Conclusiones .....	67
4.2	Recomendaciones.....	67
	Referencias.....	68
	Apéndices.....	72

### Abreviaturas

OD	Oxígeno disuelto
SOTR	Tasa de transferencia de oxígeno disuelto
AC	Alimento completo
AMN	Alimento con menor valor nutricional
UV	Luz ultravioleta
DC	Corriente directa
PPS	Polisulfuro de fenileno
HDPE	Polietileno de alta densidad
PMDC	Motor DC de imanes permanentes
AISI	Instituto Americano del hierro y el Acero
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
3D	Tercera dimensión
SKF	Fábrica sueca de rodamientos de bolas
UART	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal
USB	Universal Serial Bus
AGM	Plomo-ácido selladas
Tx	Datos transmitidos
Rx	Datos recibidos
PWM	Modulación por ancho de pulso
USD	dólares estadounidenses

**Simbología**

mg/L	Miligramo por litro
mg	Miligramo
L	Litro
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
°C	Grados Celsius
ups	unidades prácticas de salinidad
Kg	Kilogramo
h	Hora
O <sub>2</sub>	Oxígeno
g	Gramos
m	Metros
mm	Milímetros
rpm	Revoluciones por minuto
V	Voltios
Nm	Newton metros
N	Newton
kN	Kilonewton
W	Watts
Wh	Watts por hora
Wp	Watts pico

A	Amperios
Ah	Amperios por hora
$h_p$	Horas pico

## Índice de figuras

Figura 1.1 Reporte exportaciones ecuatorianas anuales de camarón.....	6
Figura 1.2 Patrón diario de concentración de oxígeno disuelto (OD) en estanques con abundancia de fitoplancton baja, moderada y alta .....	8
Figura 1.3 Biomasa ganada con los alimentos AC y AMN en diferentes períodos de restricción de oxígeno disuelto .....	11
Figura 1.4 Tasa de crecimiento específico con los alimentos AC y AMN en diferentes períodos de restricción de oxígeno disuelto .....	11
Figura 1.5 Aireadores de paleta ZUZU .....	13
Figura 1.6 Difusores de Burbuja Fina .....	14
Figura 1.7 Aireador Splash Oxipez .....	15
Figura 2.1 Metodología de diseño .....	21
Figura 2.2 Diseño conceptual .....	23
Figura 2.3 Geometría de paleta seleccionada .....	25
Figura 2.4 Flotador de plástico HDPE para aireador acuícola.....	27
Figura 2.5 PowerSTAR 725 Series PMDC 24V right-angle gearmotor.....	31
Figura 2.6 Diseño del eje y componentes .....	32
Figura 2.7 Bosquejo 3D estructura motorreductor .....	33
Figura 2.8 Estructura del motorreductor .....	33
Figura 2.9 Bosquejo 3D estructura panel solar .....	34
Figura 2.10 Estructura del panel solar .....	35
Figura 2.11 Soporte P 25 TF.....	37

Figura 2.12 Comunicación ESP32 - Laptop .....	42
Figura 2.13 Comunicación ESP32 - Sensor de OD .....	43
Figura 2.14 Conexión con controlador de motor .....	44
Figura 2.15 Conexión con módulo HCW-P715.....	44
Figura 2.16 Arquitectura de control.....	45
Figura 2.17 Panel solar Sirius ELNSM72M-HC-HV 540 .....	47
Figura 2.18 Controlador MPPT 100 30.....	48
Figura 2.19 AGM 12V 150Ah 6-CNJ-150 .....	50
Figura 3.1 Ensamblaje final del sistema .....	55
Figura 3.2 Tensión máxima estructura del panel .....	55
Figura 3.3 Desplazamiento máximo estructura del panel.....	56
Figura 3.4 Tensión máxima estructura del aireador de paletas.....	56
Figura 3.5 Desplazamiento máximo estructura del aireador de paletas.....	57
Figura 3.6 Diagrama de conexiones del sistema de control.....	58
Figura 3.7 Diagrama de flujo lógico .....	59
Figura 3.8 Potencia mensual suministrado al usuario.....	60
Figura 3.9 Diagrama de pérdidas de energía .....	61
Figura 3.10 Energía diaria a la salida del conjunto.....	62
Figura 3.11 Diagrama de conexiones del Sistema Fotovoltaico.....	63

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Características aireadores eléctricos vs diesel .....	12
Tabla 2.1 Criterios de selección .....	18
Tabla 2.2 Matriz de decisión de alternativas de solución .....	20
Tabla 2.3 Requerimientos del sistema .....	22
Tabla 2.4 Parámetros iniciales para el diseño mecánico.....	24
Tabla 2.5 Propiedades físicas de la paleta .....	26
Tabla 2.6 Parámetros para el funcionamiento de la paleta .....	26
Tabla 2.7 Propiedades físicas del flotador .....	28
Tabla 2.8 Criterios de selección.....	29
Tabla 2.9 Matriz de decisión de alternativas de solución .....	30
Tabla 2.10 Características del motorreductor PowerSTAR 725 Series .....	31
Tabla 2.11 Tipos de Rodamientos .....	36
Tabla 2.12 Parámetros de selección del eje .....	37
Tabla 2.13 Rendimiento mecánico del soporte P 25 TF.....	38
Tabla 2.14 Categoría de lubricantes de grado alimenticio.....	38
Tabla 2.15 Clasificación de sensores de Oxígeno disuelto.....	39
Tabla 2.16 Características de Controladores .....	41
Tabla 2.17 Características del Panel solar FSM 325 .....	47
Tabla 2.18 Características del Controlador MPPT 75 15 .....	49
Tabla 2.19 Características de la batería AGM 12V y 150Ah .....	50
Tabla 2.20 Peso del sistema por componentes.....	51

Tabla 3.1 Asignación de pines del controlador..... 58

Tabla 3.2 Cotización de rubros ..... 64

# Capítulo 1

## 1. Introducción

La acuicultura es una actividad de cultivo y crianza llevada a cabo por la intervención humana para mejorar la reproducción de organismos acuáticos como lo pueden ser peces, crustáceos, moluscos, algas y diversos organismos de agua dulce y salada [1]. En la actualidad se presenta como una importante actividad económica que genera productos alimenticios, materia prima para el sector industrial y farmacéutico, y contribuye positivamente a la sostenibilidad del medioambiente, sobre todo el cultivo de camarones como actividad principal [2].

En la agricultura existen diversos factores o parámetros que influyen en el desarrollo de los organismos marinos. La temperatura es un factor ambiental crucial que influye en la distribución y adaptación de los organismos costeros, quienes presentan mecanismos de regulación de temperatura capaz de ajustarse a la temperatura del ambiente, lo cual afecta las reacciones bioquímicas y metabólicas en estos organismos [3]. Por otro lado, la salinidad afecta la distribución de algunas especies marinas, ya que estas tienen ciclos de vida que incluyen fases estuarinas, por ejemplo, los camarones jóvenes se agrupan en salinidades bajas, mientras que los adultos se reproducen en ambientes marinos con salinidades altas [4]. Otro factor a considerar es el nivel de oxígeno disuelto, el cual tiene un impacto significativo en los organismos marinos, debido a que regula el metabolismo y la cantidad de energía disponible para el crecimiento y la producción de biomasa del cultivo [3].

De manera natural el oxígeno disuelto en el agua proviene de la interacción con el aire y la fotosíntesis de plantas acuáticas, pero también se pierde debido a la respiración de animales y la descomposición de organismos, donde bacterias utilizan el oxígeno para oxidar residuos orgánicos [5]. Para crear condiciones óptimas para el cultivo de la mayoría de las especies marinas es

necesario mantener un rango de oxígeno disuelto entre 8 y 12 mg/L, por lo que las industrias acuícolas han optado por implementar sistemas de aireación, con el fin de mantener un OD óptimo [6].

La acuicultura en Ecuador es una de las principales fuentes de empleo y estabilidad económica del país. En Ecuador la acuicultura se observa principalmente en cultivos de camarón y tilapia en la costa, trucha en ciertas áreas de la serranía y emprendimientos de otras especies de peces en la Amazonía [7]. El cultivo de estos crustáceos consiste en 2 técnicas principales, por un lado, el cultivo semi-intensivo, el cual se lleva a cabo en estanques de tierra en 2 fases hasta que cumplan con el tamaño necesario para la reproducción, y, por otro lado, el cultivo intensivo, el cual consiste en cultivar grandes densidades de camarón. Debido al incremento de peso y disminución de tiempo de crecimiento observado en los camarones gracias a la implementación de aireadores, el sector camaronero ve como una necesidad contar con estos dispositivos para aumentar o mantener la producción intensiva de camarones [8] [9].

En este proyecto abordaremos el diseño de un aireador de paletas que genere el suficiente oxígeno disuelto para suplir una piscina camaronera que se encuentre en fase intensiva en cuanto al cultivo de camarones se refiere. Se seleccionarán y diseñarán los elementos necesarios para obtener un sistema eficiente que utilice energía renovable para su funcionamiento.

## **1.1 Descripción del problema**

La falta de oxígeno disuelto en los sistemas de producción de camarón intensivos representa un desafío crucial, afectando negativamente el crecimiento, la salud y la supervivencia de los camarones cultivados [3]. Además, debido a las regulaciones medioambientales aprobadas en el año 2020, el sector camaronero en Ecuador se ha visto obligado a reducir sus prácticas de

producción intensiva de camarones. Estas regulaciones imponen estándares más rigurosos en cuanto a la protección del medio ambiente, como el fomento y desarrollo en fases de extracción, recolección, reproducción, cría, entre otros, lo que ha requerido que la industria camaronera cumpla con medidas más estrictas para preservar los recursos naturales y minimizar los impactos negativos en los ecosistemas acuáticos [10]. Por lo tanto, las bajas cantidades de oxígeno disuelto representan un problema a gran escala en el cultivo y cría de camarones de forma intensiva. La creciente densidad poblacional en piscinas camaroneras ha intensificado la demanda de oxígeno disuelto, lo cual es motivo de creciente preocupación por parte de los camaroneros debido a la pérdida de productividad en consecuencia a la falta de oxígeno disuelto. Esta situación ha impulsado la necesidad de incrementar la cantidad de dispositivos aireadores en estas instalaciones para regular el oxígeno de la piscina.

## **1.2 Justificación del problema**

La aplicación de sistemas automatizados para mejorar la producción en el sector camaronero ha aumentado a medida que Ecuador se ha posicionado como uno de los principales exportadores de camarón a nivel mundial [11]. Debido a este crecimiento, las empresas de automatización industrial están interesadas en diseñar dispositivos o sistemas que le permitan al sector camaronero ser competitivo [12]. Para mantener esta competitividad es necesario que las empresas brinden grandes cantidades de camarones con gran tamaño por lo que el uso de aireadores beneficia en gran medida el crecimiento y reproducción de los cultivos de camarones. Los sistemas de aireadores actuales en el mercado de Ecuador no cuentan con un funcionamiento autónomo lo que aumenta la dependencia de fuentes de energía externas y limita su eficiencia y

flexibilidad operativa. Además, la aplicación de aireadores en las piscinas camaroneras contribuye a su sostenibilidad y respeto por el medio ambiente, ya que mejoran significativamente la calidad del agua [13].

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Diseñar un sistema de aireadores autónomos para camaroneras que funcione con energía eléctrica renovable y cuente con un control automático de sensores y actuadores para suministrar el oxígeno disuelto necesario para el correcto crecimiento y supervivencia de los camarones.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

1. Diseñar un sistema de alimentación con el uso de paneles solares que brinde una sostenibilidad autónoma a los aireadores.
2. Desarrollar un control automático que permita monitorear y ajustar los niveles de oxígeno y otros parámetros críticos en tiempo real.
3. Diseñar los componentes mecánicos del sistema de aireadores, considerando la eficiencia en la generación y distribución del flujo de aire en las piscinas camaroneras.

### **1.4 Marco teórico**

#### ***1.4.1 El cultivo de camarones en Ecuador como método de ingreso de divisas.***

El camarón es un organismo que necesita de una alimentación y condiciones climáticas aptas para su supervivencia, reproducción y crecimiento sostenible. En el mundo existen aproximadamente 342 especies de camarón, de las cuales son muy pocas las que forman una parte

importante en los sectores acuícolas y económico. El camarón tigre (*Penaeus monodon*), el camarón japonés (*Penaeus japonicus*), el camarón blanco de la India (*Penaeus indicus*) y el camarón blanco (*Penaeus vananmei*) representan más del 80% de la producción de camarón en cultivos. En Ecuador solo son 2 especies de camarón que son cultivadas y exportadas para su consumo, estas especies son un derivado del llamado camarón blanco, sus nombres en cuestión son: *Litopenaeus stylirostris* y *Litopenaeus vannamei*, siendo esta última la más cultivada en nuestro país [14].

El cultivo de camarones es de vital importancia en el sector acuícola en Ecuador. Este representa uno de los sectores de más ingresos de divisa por exportación quedando por detrás de la exportación de petróleo. En los últimos años se ha mostrado un crecimiento casi exponencial en las exportaciones llegando hasta los \$5323 millones de dólares como se puede apreciar en la Figura 1.1.

**Figura 1.1**

*Reporte exportaciones ecuatorianas anuales de camarón*



### **1.4.2 Oxígeno disuelto: Definición y Características**

El oxígeno disuelto hace referencia a la cantidad de oxígeno presente en un medio acuático, el cual, ayuda a la supervivencia y reproducción de organismos acuáticos como lo son los peces, camarones o diversas plantas. Este parámetro se lo relaciona comúnmente con la calidad del agua, de forma que, a mayor nivel de oxígeno disuelto en el agua, mejor será la calidad de esta [6].

#### **1.4.2.1 Influencia de la salinidad y temperatura.**

La capacidad de disolución del oxígeno en el agua se ve influenciada por diferentes factores. Por un lado, la salinidad del agua reduce la capacidad de disolución del aire, lo que significa que a medida que aumenta la salinidad, disminuye la concentración de saturación de oxígeno disuelto [15]. Por otro lado, la temperatura también afecta la solubilidad de los gases en el agua de manera no lineal. A temperaturas más bajas, la solubilidad del oxígeno aumenta considerablemente, mientras que, a temperaturas más altas la concentración de saturación de oxígeno disuelto disminuye de forma que, el camarón experimenta un crecimiento óptimo con temperaturas alrededor de 30°C y una baja salinidad de aproximadamente 15 ups [16].

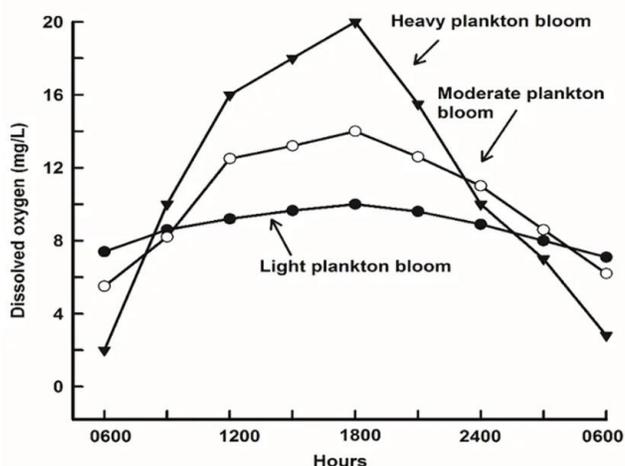
#### **1.4.2.2 Variación del oxígeno disuelto.**

La concentración de oxígeno disuelto en el agua experimenta variaciones debido a la actividad del fitoplancton y otros organismos acuáticos. Durante el día, la fotosíntesis del fitoplancton aumenta la concentración de oxígeno disuelto, mientras que, durante la noche, la respiración de los organismos acuáticos provoca una disminución como se observa en la Figura 1.2. La densidad de las floraciones de fitoplancton y la disponibilidad de nutrientes también influyen en la fluctuación del oxígeno disuelto. Un aumento en la densidad del fitoplancton reduce la penetración de luz y disminuye la producción de oxígeno. Además, un exceso de nutrientes

puede provocar una proliferación excesiva de fitoplancton y una mayor demanda de oxígeno durante la noche [15].

### Figura 1.2

*Patrón diario de concentración de oxígeno disuelto (OD) en estanques con abundancia de fitoplancton baja, moderada y alta [15]*



#### 1.4.2.3 Efectos del oxígeno disuelto en camarones.

El oxígeno disuelto en el agua tiene un efecto crucial en la salud y bienestar de los camarones. Niveles bajos de oxígeno pueden ser letales hasta el punto de afectar negativamente su crecimiento, resistencia a enfermedades y conversión alimenticia. El incremento de la temperatura aumenta la demanda de oxígeno y el camarón necesita consumir más alimento para compensar el gasto energético. La disminución del oxígeno, debido al aumento de la respiración, puede causar estrés y mortalidad en los camarones. Incluso niveles ligeramente por debajo de lo óptimo pueden afectar su alimentación y hacerlos más susceptibles a enfermedades. Aunque los niveles de oxígeno se restablezcan después de un periodo bajo, los efectos negativos pueden perdurar. Sin

embargo, la capacidad fotosintética de las algas puede ayudar a revitalizar a los camarones afectados al producir oxígeno nuevamente [17].

#### 1.4.2.4 Tasa de transferencia del oxígeno disuelto

La tasa de transferencia de oxígeno disuelto (SOTR) hace referencia a la cantidad de oxígeno que un sistema o equipo de aireación produce en un cuerpo de agua en unidad de tiempo en condiciones estándar [18]. La fórmula (1.1) permite la obtención del SOTR a partir de factores de simulación detallados a continuación:

$$SOTR = K_L a_{20} x (C^* - C_0) x V \quad (1.1)$$

Donde:

- **SOTR** es la tasa estándar de transferencia de oxígeno ( $kg \frac{O_2}{h}$ );
- **$K_L a_{20}$**  es el coeficiente estándar de transferencia del oxígeno a 20°C ( $h^{-1}$ ) =  $K_L a_T / Q^{T-20}$ ;
- **$K_L a_T$**  es el coeficiente general de transferencia del oxígeno a una temperatura T ( $h^{-1}$ );
- **Q** es el factor de corrección para la temperatura = 1.024 para agua pura;
- **$C^*$**  es el factor de saturación del oxígeno disuelto para las condiciones del ensayo ( $\frac{mg}{L}$ );
- **$C_0$**  es la concentración de oxígeno disuelto al inicio (t=0) ( $\frac{mg}{L}$ ); - 9.07 es la concentración de oxígeno disuelto ( $\frac{mg}{L}$ ) a saturación en condiciones estándares (temperatura de 20°C y una atmósfera de presión);
- **V** es el volumen del tanque de prueba ( $m^3$ ).

#### 1.4.3 Impacto ocasionado por el uso de aireadores en camaroneras

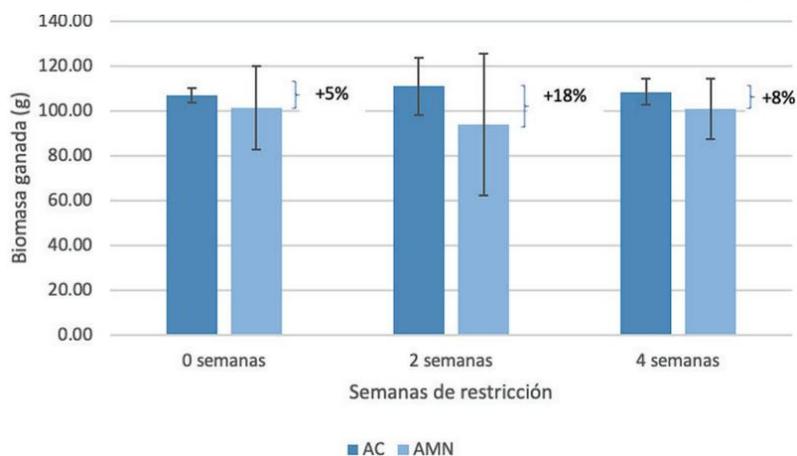
En la industria acuícola existen 2 tipos de cultivos que forman parte de la producción actual de camarones, los cuales son: el cultivo intensivo y el semi - intensivo. Para poder mantener un ritmo intensivo en el cultivo de los camarones, es necesario cumplir con factores ambientales

específicos, como la cantidad de alimento suministrada, el uso de proteínas y lípidos en el alimento, la calidad del agua en cuanto a oxígeno disuelto y la temperatura del medio acuático en que se encuentran [19].

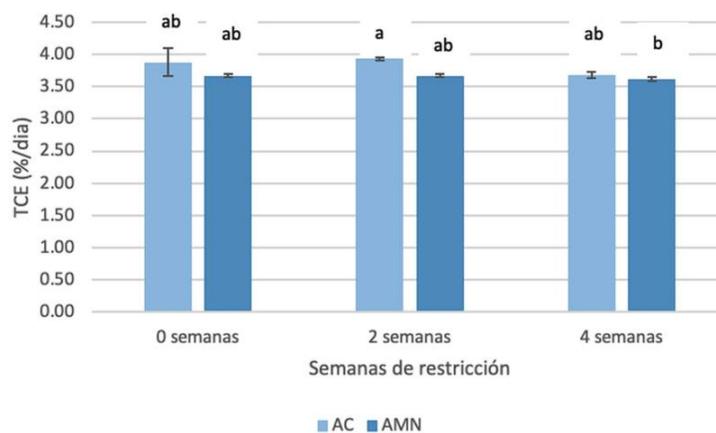
En cuanto a los 2 primeros factores que se mencionan, se han realizado diferentes estudios para obtener un alimento que aporte los nutrientes suficientes y a la medida, para que los camarones cuenten con una dieta ajustada para su metabolismo y que de esta forma se puedan desarrollar sanos. En cuanto a la calidad del agua, se deben mantener las condiciones lo más estables posible, ya que esto influye de forma negativa al desarrollo del camarón. En un estudio realizado se distribuyeron camarones con un peso inicial de  $5.29 \pm 0.02$  g en 24 tanques de 500 L. Se alimentaron manualmente con 2 dietas diferentes, la primera, con una proporción nutricional adecuada y la segunda, con una disminución en su valor nutricional. Además, se redujo la cantidad de oxígeno suministrada durante períodos de 4 horas obteniendo una gráfica de biomasa ganada y otra que muestra la tasa de crecimiento específica [20]. Estas gráficas se pueden observar en las Figura 1.3 y Figura 1.4 respectivamente.

**Figura 1.3**

*Biomasa ganada con los alimentos AC y AMN en diferentes períodos de restricción de oxígeno disuelto [22]*

**Figura 1.4**

*Tasa de crecimiento específico con los alimentos AC y AMN en diferentes períodos de restricción de oxígeno disuelto [22]*



El uso de aireadores en el sector camaronero ha causado un impacto muy positivo, ya que la implementación de dichos sistemas mantiene estable los niveles de oxígeno disuelto, que de forma natural no son suficientes para la supervivencia de los camarones. Por consecuencia, se han realizado diferentes estudios para encontrar la transferencia de oxígeno por parte de diferentes tipos de aireadores, para obtener el más eficiente [21].

## 1.5 Estado del arte

En el sector acuícola existe una gran variedad de aireadores, los cuales dependen de su aplicación y uso. En la actualidad, los aireadores se dividen en 2 categorías, los que funcionan a base de combustibles como el diésel y los que funcionan a partir de energía eléctrica. Una comparativa de los puntos fuertes y débiles de cada uno se puede observar en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1**

*Características aireadores eléctricos vs diesel*

Aireadores eléctricos	Aireadores Diesel
Más eficientes	Menos eficientes
Menos riesgo de contaminación	Más riesgo de contaminación
Más modelos disponibles	Pocos modelos
Equipos pequeños, mejor repartición en las piscinas	Equipos grandes menos homogenización de oxígeno
Aún con muchas unidades operación sencilla	Mantenimiento y operación compleja con muchas unidades
Instalación costosa en proyectos pequeños.	Instalación rápida y sencilla.
Instalación se vuelve en términos económicos competitiva vs. Diesel en proyectos de 40 unidades en adelante	Menor costo vs eléctrico, en proyectos hasta 40 unidades. Se recomienda utilizar hasta esa cantidad, en adelante sugiere analizar la versión eléctrica
Mayor vida útil	Menor vida útil

Como se observa en la Tabla 1.1, si la inversión no es un impedimento, los aireadores de tipo eléctrico son una mejor opción, ya que, brindan un mayor rendimiento y vida útil que los aireadores Diesel.

Dentro del campo de los aireadores eléctricos se manifiestan muchas variaciones dependiendo de las necesidades del cliente y las condiciones a las que estará sometido el dispositivo, entre las más usadas se encuentran: Aireador de paleta, Aireador con sistema de difusión de aire y Aireadores tipo splash.

### ***1.5.1 Aireadores de paleta:***

El sistema de dichos aireadores consiste en aspas o paletas que giran en la superficie del agua formando salpicaduras que permiten la oxigenación de esta. El sistema generalmente consiste en flotadores que permiten que se mantenga en la superficie, un motor encargado de girar las aspas el cual puede funcionar con electricidad o diésel y las paletas que giran debido al motor oxigenando el agua. En Ecuador se disponen varios modelos de este tipo, uno de los más reconocidos son los aireadores DIVA o ZUZU [22], este último se puede observar en la Figura 1.5.

**Figura 1.5**

*Aireadores de paleta ZUZU [25]*



### ***1.5.2 Aireadores con sistema de difusión de aire:***

Este sistema funciona a partir de un compresor de aire que alimenta a un difusor, el cual puede ubicarse en el fondo o en la superficie del agua. Su funcionamiento se basa en liberar un gran volumen de aire a una presión capaz de vencer la presión hidrostática, forzando el aire a pasar por el difusor y de esta manera aumentar el oxígeno disuelto en el agua. Normalmente estos sistemas son utilizados en estanques profundos. Este tipo de aireador se encuentra en diferentes modelos y con diferentes difusores, uno de los más reconocidos es el producido por la empresa GIISAMEX [23], el cuál puede ser observado en la Figura 1.6.

#### **Figura 1.6**

*Difusores de Burbuja Fina [26]*



### ***1.5.3 Aireadores tipo splash:***

Este tipo de aireador funciona a partir de una bomba la cual se encarga de mover el agua desde el fondo de la piscina disparándola hacia su alrededor, de esta forma garantizando una oxigenación homogénea. Otro uso es en la extracción de gases tóxicos que se pueden acumular en el fondo debido a la comida en estado de descomposición que llega a solidificarse. Estos aireadores son fabricados con un polímero con filtro UV, el cual no produce hongos y son altamente

resistentes a los rayos solares. Una de las marcas más conocidas son los que distribuyen en la empresa OXIPEZ [24], estos se pueden apreciar en la Figura 1.7.

**Figura 1.7**

*Aireador Splash Oxipez [27]*



## **Capítulo 2**

## 2. Metodología

### 2.1 Selección de la alternativa de solución

Basándose en la problemática expuesta en el capítulo anterior, se identificaron 3 alternativas de solución, las mismas se detallan a continuación:

- **Alternativa 1:** Diseño de un aireador autónomo tipo splash que funcione a partir del uso de una bomba para esparcir el agua en todas las direcciones.
- **Alternativa 2:** Diseño de un aireador autónomo de paletas que utilice un motor DC alimentado por una batería. Las cuales se cargarán a partir de una configuración de paneles solares.
- **Alternativa 3:** Diseño de un aireador autónomo con difusor de aire que emplee un filtro para los sólidos estancados en el fondo del medio acuático.

Para determinar la alternativa más adecuada, se llevó a cabo un análisis de los criterios presentados en la Tabla 2.1. En esta tabla se muestra el grado de importancia que posee cada criterio en comparación con los demás y el porcentaje correspondiente a cada uno en la toma de decisiones. A continuación, se encuentran las descripciones de cada criterio:

- **Autonomía:** Capacidad de funcionamiento de manera independiente sin requerir de intervención o control constante.
- **Capacidad:** Cantidad de oxígeno disuelto producido por hora.
- **Facilidad de uso y limpieza:** Facilidad de desmontaje del producto para su respectivo mantenimiento.
- **Grado de innovación:** Nivel de originalidad al desarrollar el diseño.

- **Replicabilidad:** Capacidad de que el diseño pueda ser reproducido o implementado con fines de aumentar la modularidad del mismo.
- **Sostenibilidad:** Capacidad del diseño de ser ambientalmente amigable y mantenerse en el tiempo de forma continua.
- **Tiempo de operación:** Duración del proceso de oxigenación del medio acuático
- **Viabilidad:** Factibilidad de implementar el diseño y mantener el sistema económicamente.

**Tabla 2.1***Criterios de selección*

Peso	Criterio	Rango de importancia	% de Decisión
3	Viabilidad	1	20
3	Capacidad	2	20
2.5	Autonomía	3	17
2.5	Tiempo de operación	4	17
0.5	Facilidad de uso y limpieza	5	3
2	Sostenibilidad	6	13
1	Replicabilidad	7	7
0.5	Grado de innovación	8	3
15	Total		100

Basados en los criterios anteriormente mencionados se realizó una evaluación de cada una de las alternativas de solución. Debido al resultado del análisis se escogió la segunda alternativa, la cual se consideró la más adecuada para abordar la problemática. Con esta alternativa se cumplirían los requisitos de producción, en términos de capacidad y autonomía. Además, resulta viable en cuanto a su fabricación con recursos y tecnologías encontradas en distribuidoras nacionales. Su diseño se mantiene simple para un fácil desmontaje para su mantenimiento y cumple con los niveles de sostenibilidad. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2***Matriz de decisión de alternativas de solución*

Opciones	Criterio										Resultados		Prioridad
	Pesos	3	3	2.5	2.5	0.5	2	1	0.5			Puntaje sin peso	
	Viabilidad	Capacidad	Autonomía	Tiempo de operación	Facilidad de uso y limpieza	Sostenibilidad	Replicabilidad	Grado de innovación					
Alternativa 1	3	3	1	2	1	3	2	1			16	34.5	2
Alternativa 2	3	3	3	3	2	2	2	2			20	36	1
Alternativa 3	2	3	2	2	1	1	2	1			14	30	3

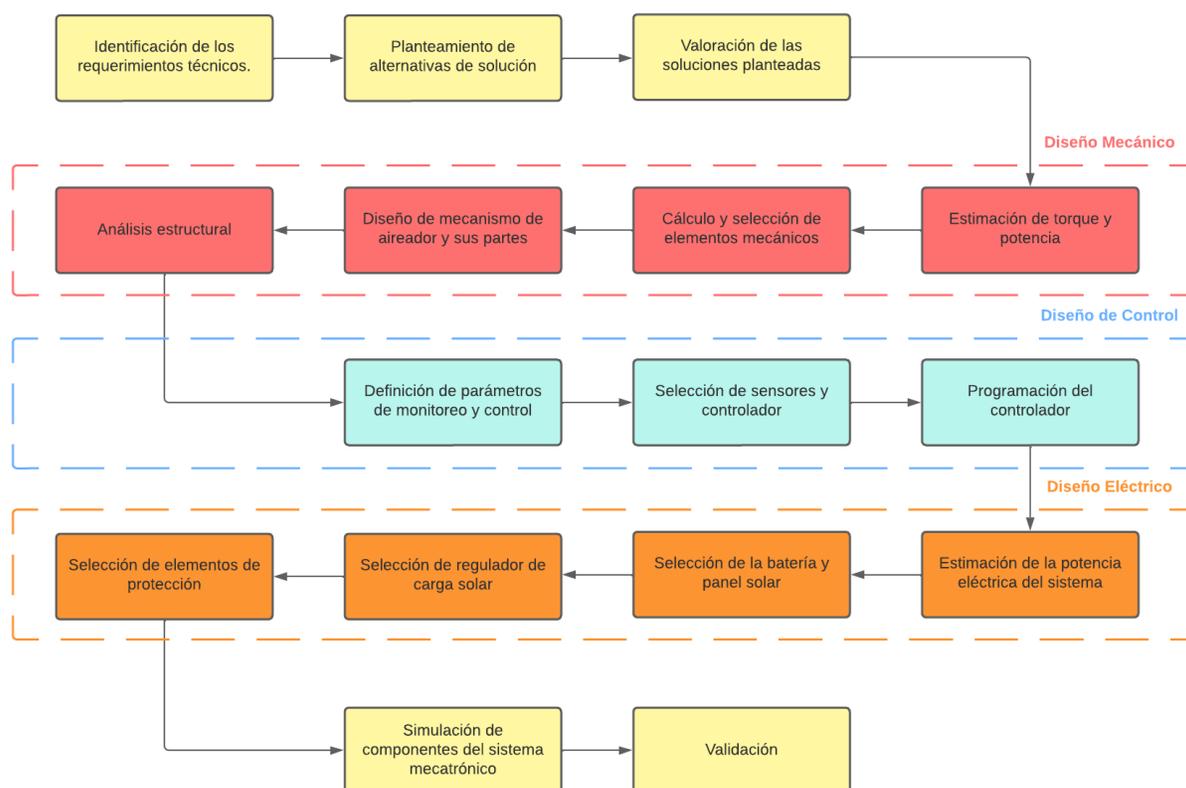
## 2.2 Proceso de diseño

Para el proceso de diseño del aireador de paleta se llevaron a cabo diversas etapas durante el proceso de desarrollo, abordando de manera gradual cada aspecto del problema y logrando satisfacer los requisitos del cliente. La Figura 2.1 muestra, a través de un diagrama de flujo, la metodología aplicada durante todo el proceso de diseño. Inicialmente se verifican los requerimientos técnicos, mediante los cuales se plantean diferentes alternativas y se evalúan con

el propósito de encontrar la solución que se adapte mejor a los requerimientos planteados. En la siguiente etapa se realiza el diseño mecánico, además de considerar los elementos a seleccionar. Luego se realizará el diseño de control, el cual consta de los parámetros para el monitoreo del sistema, así como la selección del sensor y el controlador que se ajusten al sistema. En la etapa de diseño eléctrico se debe estimar la potencia eléctrica necesaria para que el sistema funcione adecuadamente, además de la selección de los elementos como las baterías, el panel solar y el regulador de carga solar. Por último, se realizará la simulación de los componentes diseñados para validar su correcto funcionamiento.

**Figura 2.1**

*Metodología de diseño*



### 2.3 Requerimientos de diseño

Para el diseño del aireador por paletas, se plantearon ciertos requerimientos a cumplirse de acuerdo con las especificaciones solicitadas por el cliente, con el objetivo de garantizar su correcto funcionamiento. En la Tabla 2.3 se pueden observar los requerimientos de diseño de del sistema del aireador.

**Tabla 2.3**

*Requerimientos del sistema*

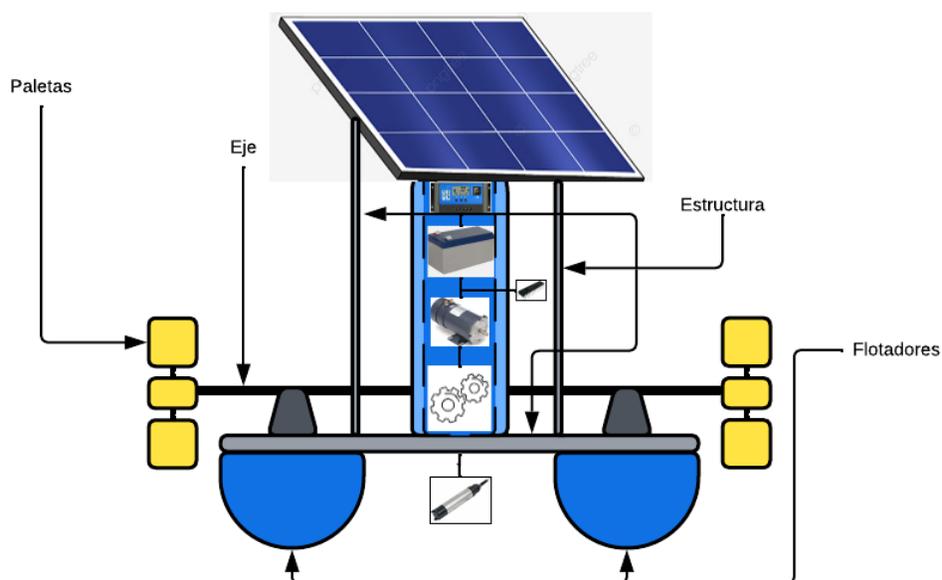
Autonomía	El Aireador debe ser capaz de funcionar sin la supervisión de ningún operador.
Capacidad	Cumplir con la tasa de transferencia de oxígeno estándar (2-3 kg O <sub>2</sub> /h).
Costos	Reducción de costos a largo plazo en comparación con los actuales costos de operación de los aireadores en el mercado.
Funcionalidad	Capaz de transferir OD de forma que se mantenga en el rango adecuado para la supervivencia del camarón (4 a 6 mg/L).
Impacto Ambiental	Reducción de impacto ambiental con energía limpia y renovable.
Tamaño	Dimensionamiento máximo de 2.5 x 2.5 x 2.5 m.
Tiempo de operación diario	El Aireador debe funcionar 16 horas por día.
Peso	Peso máximo de 200 kg.

## 2.4 Diseño conceptual

Se planteó un boceto inicial del aireador de paletas como se muestra en la Figura 2.2, donde se pueden observar los diferentes componentes generales que incorpora el sistema como: paletas, ejes, flotadores y diversos componentes mecánicos y eléctricos.

**Figura 2.2**

*Diseño conceptual*



Para el bosquejo de nuestro diseño conceptual, se partió de modelos existentes de aireadores de paletas en el mercado ecuatoriano. En el mercado predominan los aireadores a diésel de forma que se decidió cambiar este aspecto para que cumpla con el requerimiento de sostenibilidad implementando un sistema de alimentación por energía solar que incluía diferentes componentes, tales como un panel solar, un regulador solar, una batería y un controlador correspondiente con sus actuadores y sensores para su respectivo control. Todos estos componentes se encuentran centrados en una estructura metálica en la mitad de los flotadores de

forma que su centro de masa se mantenga en la mitad repartiendo el peso por igual en los flotadores.

## 2.5 Parámetros de diseño mecánico

Los parámetros que se tomaron en cuenta para la selección y diseño de componentes mecánicos se muestran en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4**

*Parámetros iniciales para el diseño mecánico*

Parámetros	Valor	Unidad
SOTR	2-3	kg O <sub>2</sub> /h
Dimensiones	2.5 x 2.5 x 2.5	m
Peso máximo	200	kg

Se empezó con la selección de las paletas y flotadores que dependen solo del SOTR y el peso máximo respectivamente. Teniendo los parámetros y características físicas de estos componentes se procedió a la obtención de torque y potencia generados por las paletas, teniendo de esta forma los parámetros de selección del motorreductor y de los diversos componentes que corresponden a la transmisión de potencia y movimiento a las paletas.

### 2.5.1 Selección de paletas

En el proceso de selección de las paletas para el aireador, el parámetro primordial que se considero fue la Tasa de Transferencia de Oxígeno Específica (SOTR) que cada paleta o número de paletas puede proporcionar. La elección de realizar una selección en lugar de un diseño se fundamenta en la ausencia de fórmulas o simulaciones que permitan determinar de manera precisa

el tamaño o la geometría óptima de la paleta necesaria para lograr una SOTR deseada. En consecuencia, se adopta un enfoque de prueba y error, donde se diseñan geometrías de paletas y se someten a pruebas en espacios o estanques con volúmenes y concentraciones de oxígeno disuelto predefinidos.

En el mercado de aireadores por paleta ya existe un diseño estándar de paletas que te brindan una SOTR de 1-2 (kg O<sub>2</sub>/h) cada una, por lo que, se decidió el uso de 2 paletas con dicha geometría como se muestra en la Figura 2.3 para nuestro sistema.

**Figura 2.3**

*Geometría de paleta seleccionada*



En la Tabla 2.5 se detallan las características físicas de la paleta, incluyendo sus dimensiones, peso, material y diversas dimensiones de la geometría.

**Tabla 2.5***Propiedades físicas de la paleta*

Parámetros	Valor	Magnitud
Peso	5.773	kg
Diámetro exterior	700	mm
Diámetro del eje	25	mm
Dimensiones de aspa	200x204x10	mm
Diámetro orificios de aspa	20	mm
Material	Plástico PPS	-

Para que cada paleta de la SOTR especificada en el párrafo anterior, estas deben girar a una revolución de entre 100 a 150 rpm sumergiendo el aspa inferior unos 100 mm en el agua para generar una mayor salpicadura de gota de agua. De esta manera, se estableció los parámetros para el funcionamiento óptimo de la paleta los cuales se detallan en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6***Parámetros para el funcionamiento de la paleta*

Parámetros	Valor	Magnitud
Velocidad angular	120	rpm
Profundidad de inmersión del aspa inferior	100	mm
Área de contacto de las aspas con el medio acuático	0.018	m <sup>2</sup>

### 2.5.2 Selección de flotadores

En el sector acuícola existen diversos tipos de flotadores para la implementación de dispositivos como alimentadores automáticos o aireadores. Para la selección de los flotadores de nuestro sistema, se optó por los flotadores convencionales para aireadores de paletas, como se puede observar en la Figura 2.4, el cual nos brinda resistencia a los impactos, productos químicos y luz solar.

**Figura 2.4**

*Flotador de plástico HDPE para aireador acuícola*



En la Tabla 2.7 se detallan las características físicas del flotador, incluyendo sus dimensiones, peso, material y diversas dimensiones de la geometría.

**Tabla 2.7***Propiedades físicas del flotador*

Parámetros	Valor	Magnitud
Peso	6	kg
Dimensiones	L1618 x W325 x H205	mm
Volumen	0.09	m <sup>3</sup>
Capacidad máxima de carga del flotador	90	kg
Material	Plástico HDPE	-

### 2.5.3 Selección de motorreductor

Para el sistema es necesario una velocidad entre 100 a 150 rpm, con un torque aproximado de 8 Nm. Para este propósito, se evaluaron tres posibles alternativas:

- Alternativa 1: Utilizar un reductor y acoplarlo a un motor seleccionado.
- Alternativa 2: Utilizar un motorreductor que proporcionara la salida adecuada para el diseño.
- Alternativa 3: Utilizar solo un motor con los parámetros adecuados para el funcionamiento del sistema.

Una vez planteadas las posibles alternativas se realizó una matriz de decisión analizando los siguientes criterios, los cuales se pueden observar en la Tabla 2.8:

- Cumplimiento de los requerimientos del proyecto
- Facilidad de montaje

- Modularidad
- Facilidad de mantenimiento

**Tabla 2.8***Criterios de selección*

Criterios de selección			
Peso	Criterio	Rango de importancia	% de Decisión
3	Cumplimiento de los requerimientos del proyecto	1	37.5
2	Facilidad de montaje	2	25
2	Facilidad de mantenimiento	3	25
1	Modularidad	4	12.5
8	Total	-	100

**Tabla 2.9***Matriz de decisión de alternativas de solución*

Pesos	Criterio							Resultados	
	3	2	2	1					
Opciones	Cumplimiento de los requerimientos	Facilidad de montaje	Facilidad de mantenimiento	Modularidad	Puntaje sin peso	Puntaje con peso	Prioridad		
Alternativa 1	2	1	1	3	7	13	2		
Alternativa 2	3	3	1	2	9	19	1		
Alternativa 3	1	2	1	2	6	11	3		

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 2.9 se seleccionó el motorreductor 725 Series PMDC 24 V con reductor de ángulo recto, cuyas características se pueden observar en la Tabla 2.10 y cuya imagen de referencia se puede observar en la Figura 2.5.

**Figura 2.5***PowerSTAR 725 Series PMDC 24V right-angle gearmotor***Tabla 2.10***Características del motorreductor PowerSTAR 725 Series*

	Voltaje	Potencia	Velocidad	Corriente	Torque	
Modelo	nominal	nominal	a la salida	nominal	nominal	Peso kg
	V	W	rpm	A	Nm	
725						
Series						
PMDC	24	120	120	9.5	9.377	8.16
24V						

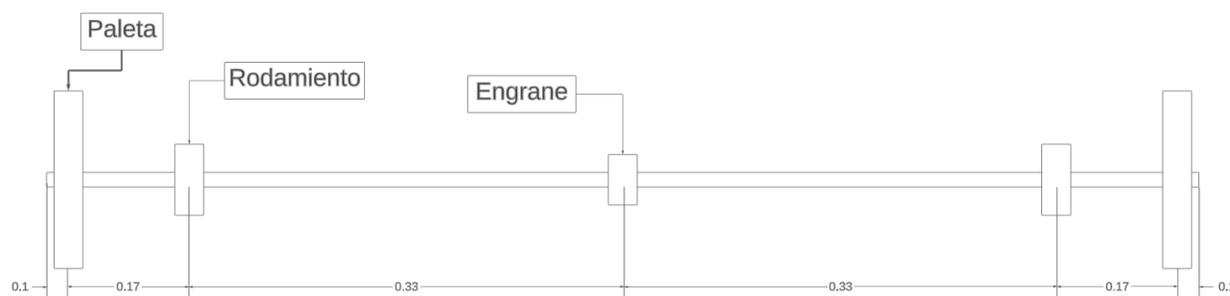
#### **2.5.4 Dimensionamiento del eje**

Para el dimensionamiento del eje se consideró el requerimiento dimensional del diseño, el cual tiene como límite 2.5 m de largo. Como es necesario que las paletas se acoplen cerca de los extremos del eje y, además, estas tienen un diámetro de fábrica de 25 mm, se consideró emplear dicha dimensión en el diámetro del eje de tal forma que se ajuste a las paletas. También se emplearon anillas de sujeción y chumaceras de tal forma que cada una actúa sobre un lado del

rodamiento, para que este quede fijo. Las medidas y detalles se encuentran en la Figura 2.6. Dado que el sistema se encontrará en contacto con el agua se decidió utilizar como material del eje el acero inoxidable AISI 304.

**Figura 2.6**

*Diseño del eje y componentes*



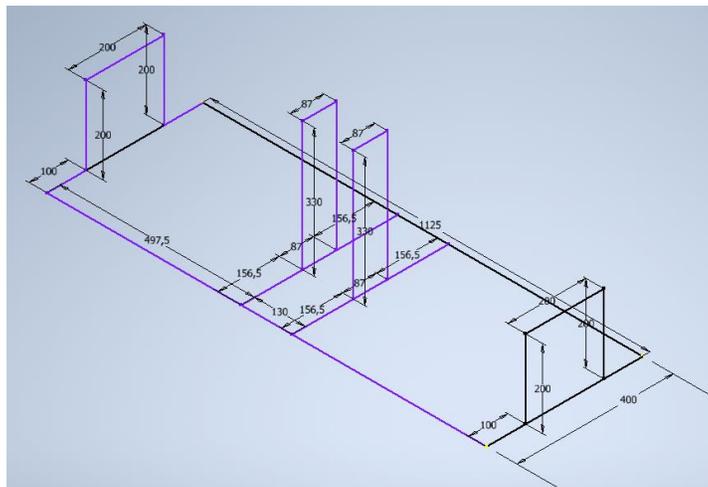
Para el diseño el eje solo posee una sección de diámetro constante, por lo que se procede a obtener el análisis de los esfuerzos que influyen en el eje. Para obtener los resultados de este análisis se utilizó el método estándar de ASME, ya que a pesar de que no es el más conservador es suficiente para las cargas que se aplican sobre eje. El análisis de las cargas aplicadas al eje se puede observar en el Apéndice C.

### **2.5.5 Diseño de las estructuras de soporte**

Para el diseño de la estructura del motorreductor se consideró la medida del eje y como se acoplarán las paletas a este, de tal forma que, el espacio restante sea ocupado por los flotadores. También se consideró las medidas de ancho y largo del motorreductor para que se acople correctamente, además, se consideró la altura a la que deben estar los elementos que se acoplarán al eje para que esté nivelado. El bosquejo 3D para la estructura se puede apreciar en la Figura 2.7.

**Figura 2.7**

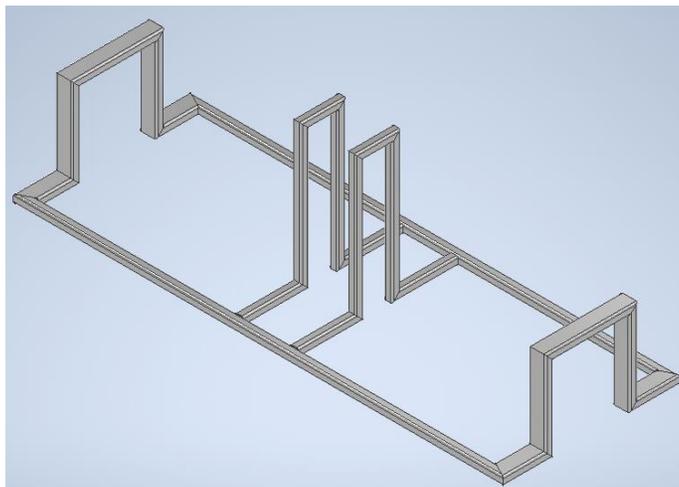
*Bosquejo 3D estructura motorreductor*



A partir del diseño del bosquejo en 3D de la estructura se optó por utilizar 2 perfiles de tubos, el primero de 20 x 20 x 2 mm formando parte de la sección del centro y el otro perfil de 40 x 20 x 2 mm formando parte de los laterales de la estructura. De esta forma elementos como los soportes estuviesen apoyados en su totalidad sobre la estructura. En la Figura 2.8 se puede apreciar el diseño final de la estructura, así como la disposición de los perfiles anteriormente planteados.

**Figura 2.8**

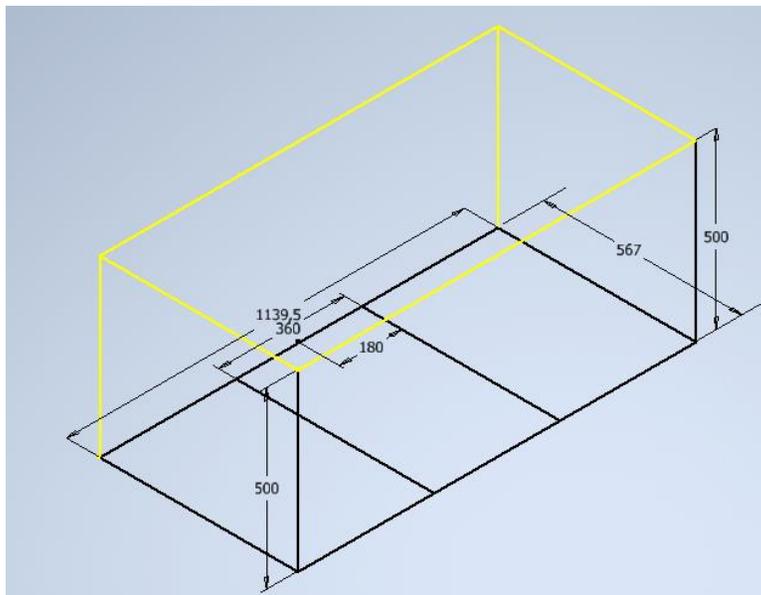
*Estructura del motorreductor*



En cuanto a la estructura para el panel solar se consideró un espacio para las baterías y componentes electrónicos en la base, mientras que en la parte superior a una altura prudente se diseñó el soporte para el panel solar. En la Figura 2.9 se puede apreciar el bosquejo en 3D con las respectivas medidas.

**Figura 2.9**

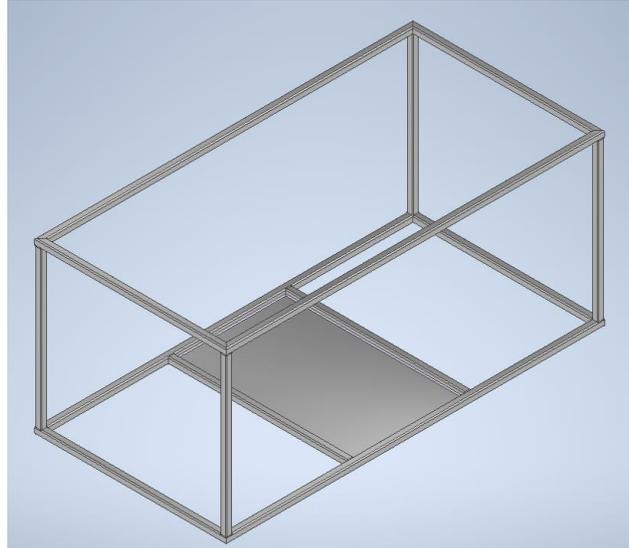
*Bosquejo 3D estructura panel solar*



Una vez diseñado el bosquejo en 3D se procedió a seleccionar el perfil adecuado de la estructura. En este caso se utilizó solo un perfil de tubo con forma cuadrada de medidas 20 x 20 x 2 mm capaz de soportar el peso de las baterías y el panel solar, debido que, son los elementos con mayor peso del sistema. En la Figura 2.10 se puede apreciar el diseño final de la estructura, así como la disposición de los perfiles anteriormente planteados.

**Figura 2.10**

*Estructura del panel solar*



### ***2.5.6 Selección de soporte y rodamientos para el eje***

En el presente apartado, se expone el proceso de selección y diseño de los rodamientos a utilizar. En primer lugar, se optó por emplear una chumacera de soporte de pie para ser acoplada en una superficie horizontal, estas irán ubicadas en la estructura centradas en cada flotador proporcionando una adecuada estabilidad y asegurando la correcta operación del conjunto.

En relación con los rodamientos, en el Apéndice C se especifica que las cargas presentes en el soporte serán únicamente de naturaleza radial. Por lo tanto, se ha optado por utilizar el tipo de rodamiento conocido como 'Deep Groove Ball Bearing' (rodamiento rígido de bolas), el cual es capaz de gestionar estas cargas radiales de manera satisfactoria, tal como se detalla en la Tabla 2.11.

**Tabla 2.11***Tipos de Rodamientos*

Tipo de Rodamiento	Cargas Radiales	Cargas Axiales
Deep Groove Ball Bearing	Bueno	Normal
Angular Contact Ball Bearing	Bueno	Bueno (en una dirección)
Spindle bearing	Bueno	Bueno (en una dirección)
Cylindrical Roller Bearing	Muy Bueno	Inadecuado
Tapered Roller Bearing	Muy Bueno	Muy Bueno (en una dirección)
Spherical Roller Bearing	Muy Bueno	Bueno

También se estableció que estos rodamientos deben tener sellos y aros deflectores en ambos lados, debido a la exposición constante a un entorno acuático y corrosivo, como en el caso de piscinas camaroneras, donde la protección contra la entrada de agua y otros contaminantes es esencial para garantizar una vida útil prolongada y un funcionamiento confiable de los rodamientos.

**Tabla 2.12***Parámetros de selección del eje*

Parámetros	Valor	Magnitud
Diámetro del eje	25	mm
Velocidad del eje	120	rpm
Carga en los soportes (Apéndice C)	87,524	N

Teniendo en cuenta todos estos factores y los especificados en la Tabla 2.12 , se empleó la página de selección de soportes de SKF. A través de esta herramienta, se determinó que el soporte de pie con rodamiento P 25 TF era la opción recomendada, como se muestra en la Figura 2.11 con sus respectivas especificaciones de rendimiento en la Tabla 2.13.

**Figura 2.11***Soporte P 25 TF*

**Tabla 2.13***Rendimiento mecánico del soporte P 25 TF*

Parámetros	Valor	Magnitud
Velocidad limite	7000	rpm
Capacidad carga dinámica	14	kN
Capacidad carga estática	7.8	kN

Adicionalmente, se consideró la lubricación H1, adecuada para el ambiente de piscina camaroneras y productos alimenticios en el que trabajará el sistema. Esta elección asegura una lubricación adecuada, sin riesgos de contaminación de los productos y con resistencia a las condiciones específicas de operación como se muestra en la Tabla 2.14.

**Tabla 2.14***Categoría de lubricantes de grado alimenticio*

Categoría	Descripción
<b>Lubricantes H1</b>	Son usados en ambientes donde se trabajan con productos alimenticios, existiendo la posibilidad de contacto incidental con estos.
<b>Lubricantes H2</b>	Son usados en equipos y maquinarias donde no existe ninguna probabilidad de contacto entre el lubricante y los alimentos.
<b>Lubricantes H3</b>	Estos son usados para limpieza y como prevención de que se produzcan manchas de herrumbre en los equipos y maquinarias.

## 2.6 Parámetros de monitoreo y control

El principal parámetro que se consideró para el monitoreo y control del aireador es el oxígeno disuelto en el agua, cuya medición será la encargada de la activación o desactivación de los respectivos actuadores, en este caso, el motor. Además, se buscó realizar un control energético para asegurar que la energía proporcionada por las baterías fuera suficiente para el correcto funcionamiento del aireador. Este enfoque permitió optimizar el consumo de energía y promover un funcionamiento eficiente del sistema.

### 2.6.1 Selección de sensores

Para la selección de tipos de sensores de oxígeno disuelto, en la Tabla 2.15 se observa las principales características de los sensores más usados en el sector acuícola como precisión y tiempo de respuesta del sensor.

**Tabla 2.15**

*Clasificación de sensores de Oxígeno disuelto*

Características	Sensor de OD Galvánico	Sensor de OD óptico
Imagen		
Principio de funcionamiento	Celda galvánica genera corriente proporcional al oxígeno disuelto.	Tecnología de fluorescencia mide la absorción de luz por el oxígeno disuelto
Precisión	Moderada	Alta
Tiempo de respuesta	Moderada	Rápido (segundos)
Mantenimiento	Periódico	De 1 – 2 años
Peso	570 g	450 g
Costo	Moderado	Alto

El sensor más adecuado según la Tabla 2.15 para una piscina camaronera, es un sensor de oxígeno disuelto óptico SUP-DO7016. Estos sensores son precisos y confiables en entornos acuáticos, además, pueden proporcionar mediciones rápidas y precisas de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de la piscina. Los sensores ópticos utilizan tecnología de fluorescencia para medir el oxígeno disuelto, este método consiste en emitir luz a una longitud de onda específica y medir la cantidad de luz que es absorbida por el oxígeno disuelto. Este método es muy sensible y puede proporcionar mediciones precisas incluso a niveles bajos de oxígeno disuelto.

Para la toma de datos de la batería se aprovechó el regulador solar del modelo MPPT, ya que nos brinda la opción de toma de datos de la batería.

### ***2.6.2 Selección de controlador***

Para la selección de controlador se consideraron diferentes opciones disponibles en el mercado, como Arduino Uno, ESP32 y Raspberry Pi, ya que son los más utilizados en la industria para sistemas embebidos. En la Tabla 2.16 se presentan las principales características de cada controlador.

**Tabla 2.16***Características de Controladores*

Características	Arduino Uno	ESP32	Raspberry Pi
Imagen			
Tamaño	Varios tamaños disponibles	Compacto	Relativamente grande
Capacidad de comunicación	Limitado	Wi-Fi, Bluetooth, entre otros	Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, entre otros
Costo	Accesible	Accesible	Mayor en comparación a Arduino y ESP32
Procesamiento	Moderado	Moderado	Potente
Peso Kg	0.04	0.0068	0.003

Se seleccionó el ESP32 como el controlador a integrar en el sistema de control, debido a sus características destacadas. En primer lugar, el ESP32 se distingue por su tamaño compacto en comparación con otros controladores considerados. Esta característica, resulta fundamental para su integración en el sistema de control del aireador, ya que se requiere un factor de forma reducido para un óptimo funcionamiento. Además, el ESP32 cuenta con módulos de comunicación integrados, lo que facilita el envío de datos necesarios para un posible sistema de monitoreo. La

capacidad de comunicación inalámbrica mediante Wi-Fi y Bluetooth, proporciona una forma eficiente y conveniente de transmitir información relevante, permitiendo un monitoreo en tiempo real de los parámetros del aireador.

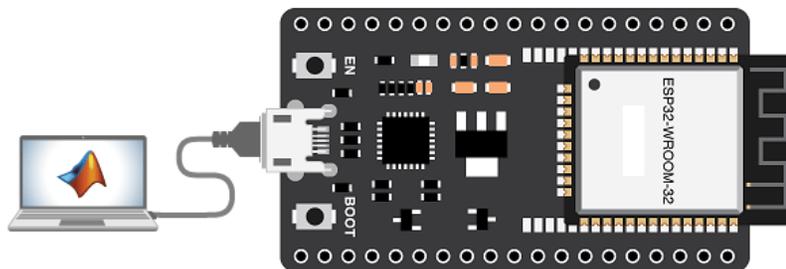
En cuanto al costo y procesamiento, el ESP32 ofrece una relación adecuada entre rendimiento y precio. Dado que el control requerido para el aireador no demanda una capacidad de procesamiento excesiva, el ESP32 cumple con los requisitos de manera eficiente sin incurrir en costos elevados innecesarios.

### 2.6.3 *Arquitectura de control*

La arquitectura de control del sistema se diseñó para garantizar la comunicación entre el controlador ESP32 y sus sensores y actuadores. En primer lugar, para la carga y revisión del código en el controlador ESP32, se optó por utilizar el protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Para lograr esto, se aprovechó el convertidor UART-USB integrado que ofrece el propio ESP32, permitiendo una conexión directa entre el controlador y la laptop a través del cable micro USB como se muestra en la Figura 2.12.

**Figura 2.12**

*Comunicación ESP32 - Laptop*

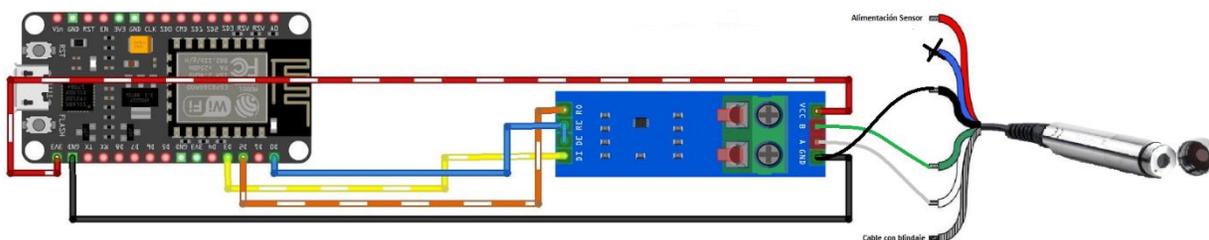


Por otro lado, el protocolo de comunicación entre el ESP32 y el sensor de oxígeno disuelto es el de RS-485. Sin embargo, se requirió un dispositivo adicional para facilitar esta comunicación,

es ahí donde se introdujo el módulo Conversor MAX485 TTL a RS-485. Este módulo actuó como intermediario entre el controlador y el sensor, permitiendo establecer una conexión como se muestra en la Figura 2.13 mediante la interfaz RS-485, que es la interfaz de señal requerida por el sensor de oxígeno disuelto. El módulo Conversor MAX485 TTL a RS485 adapta las señales de nivel lógico TTL del ESP32 a la interfaz RS-485 y viceversa, posibilitando la comunicación entre ambos dispositivos para el intercambio de datos necesarios. La comunicación con el regulador solar MPPT se da la misma forma que el sensor de oxígeno de forma que se aprovechó el módulo MAX485 TTL a RS485.

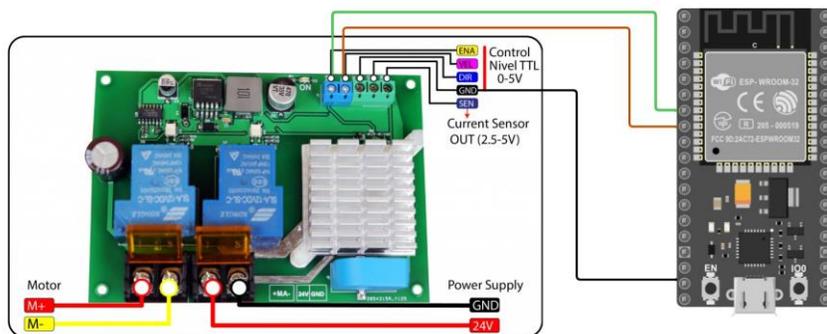
**Figura 2.13**

*Comunicación ESP32 - Sensor de OD*



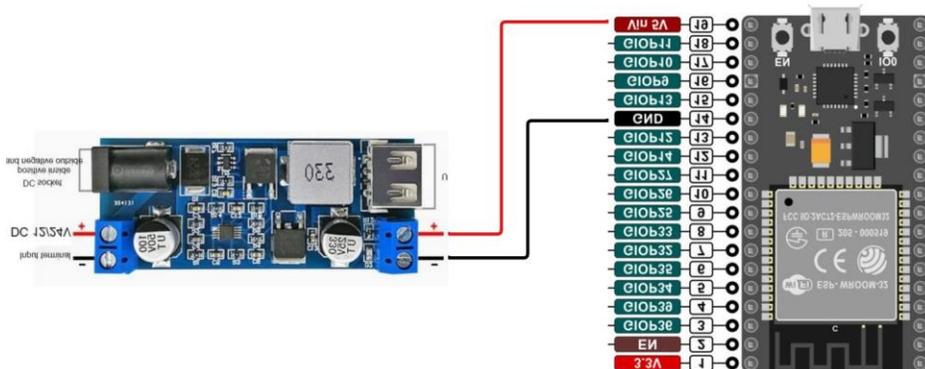
Para controlar el motor DC, se seleccionó un controlador personalizado de motores DC a 24 V, el cual permite controlar la velocidad y activación del motor. La conexión para poder realizar el control de velocidad se muestra en la Figura 2.14 con su respectiva conexión al motor y batería.

**Figura 2.14**  
*Conexión con controlador de motor*



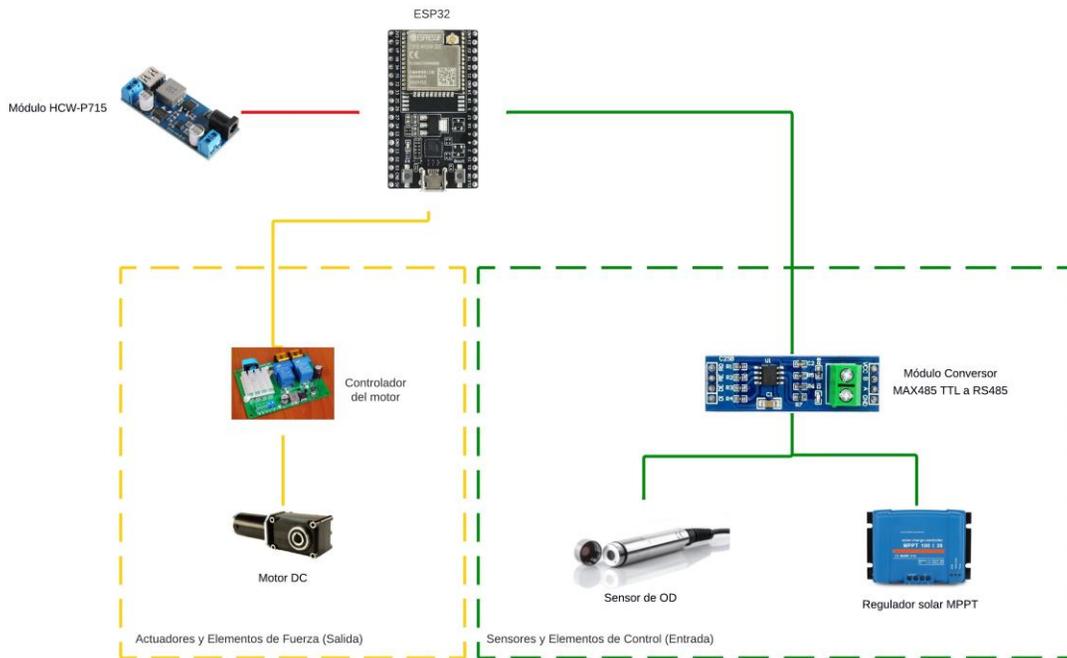
Para proporcionar la tensión nominal requerida por nuestro controlador de 5 V a partir de una fuente de 24 V, se optó por seleccionar el módulo HCW-P715. Este módulo stepdown se caracteriza por su capacidad de convertir eficientemente voltajes de entrada en el rango de 18 V a 30 V a una salida regulada de 5 V, cumpliendo así con los requisitos específicos de voltaje de alimentación de la ESP32. Las conexiones del módulo con la ESP32 se muestran en la Figura 2.15.

**Figura 2.15**  
*Conexión con módulo HCW-P715*



Finalmente, se tiene la arquitectura de control del sistema de aireadores de paleta la cual se muestra en la Figura 2.16 con sus respectivos actuadores y sensores.

**Figura 2.16**  
*Arquitectura de control*



## 2.7 Parámetros de diseño eléctrico

### 2.7.1 Selección de panel solar

Para la selección del panel solar, se calculó la potencia por hora que consumirá el aireador en un día. Según los requerimientos planteados, el aireador debe ser capaz de funcionar 16 horas al día y a partir de los cálculos realizados en los parámetros de diseño mecánico se obtuvo que la potencia necesaria del aireador es de 100 W, de forma que, se obtuvo un consumo de 1600 Wh obtenidos a través de la ecuación (2.1).

$$Wh = W * h \quad (2.1)$$

$$Wh = 100 W * 16 h$$

$$Wh = 1600 Wh$$

Teniendo ya la potencia por hora necesarias para el funcionamiento del sistema, se procedió a calcular la potencia pico necesaria del panel con la ecuación (2.2). Se verificó, que las horas de potencia pico ( $h_p$ ) suministrada por rayos solares en el Ecuador según la base de datos en la NASA, es de 4 horas aproximadamente por día. Con el valor de horas de potencia pico, se procedió a calcular un valor estimado de potencia pico ( $W_p$ ) que debería tener el panel solar a seleccionar, considerando una pérdida del 25% por factores ambientales como temperatura, suciedad, aire entre otros.

$$W_p = \frac{Wh_{sistema}}{h_p * \frac{100 - Perdid\text{as}}{100}} \quad (2.2)$$

$$W_p = \frac{1600 Wh}{4 h * 0.75}$$

$$W_p = 533 W_p$$

Finalmente, según los catálogos de paneles se seleccionó el modelo Sirius ELNSM72M-HC-HV 540 como se muestra en la Figura 2.17. Este panel nos brinda una potencia por hora promedio de 1620 Wh en un día, teniendo que las horas pico de sol en el Ecuador son 4 horas y el panel adopta una posición totalmente horizontal. Las características de este modelo se pueden apreciar en la Tabla 2.17.

**Figura 2.17***Panel solar Sirius ELNSM72M-HC-HV 540***Tabla 2.17***Características del Panel solar FSM 325*

Parámetros	Valor	Magnitud
Potencia Máxima	540	Wp
Tensión en el Punto de Máxima Potencia	41.55	V
Límite de Corriente en el sistema	25	A
Tensión en Circuito Abierto	46.18	V
Dimensiones	2279 x 1134 x 35	mm
Peso	27	kg

### 2.7.2 Selección de Regulador Solar

Para la selección del regulador solar se debe conocer la corriente máxima soportada por el panel solar y su tensión nominal, con estos datos se seleccionó el regulador de carga Blue Solar MPPT100/30 como se muestra en la Figura 2.18 y cuyas características se pueden apreciar en la Tabla 2.18. Este regulador es capaz de soportar 100 V y 30 A, requisitos para el correcto funcionamiento del sistema en conjunto con el panel solar seleccionado. Además, se optó por el modelo MPPT debido a su capacidad para proporcionar un monitoreo preciso de los parámetros de la batería a través de la comunicación RS-485. Esta característica nos permite establecer una comunicación efectiva con nuestro controlador correspondiente, facilitando la implementación de un control preciso y adecuado.

**Figura 2.18**

*Controlador MPPT 100/30*



**Tabla 2.18***Características del Controlador MPPT 75/15*

Parámetros	Valor	Magnitud
Voltaje de la batería	12/24	V
Voltaje máximo de circuito abierto	100	V
Potencia fotovoltaica nominal (24V)	880	W
Corriente de carga nominal	30	A
Dimensiones	130 x 186 x 70	mm
Peso	1.3	kg

### 2.7.3 Selección de Batería

Para la selección de la batería del sistema se consideró la potencia por hora requerida por el aireador para obtener la corriente por hora que debe tener nuestra batería a partir de la ecuación (2.3).

$$A_h = W_h / (V * \%_{descarga}) \quad (2.3)$$

$$A_h = \frac{1600 W_h}{24 V * 0.5}$$

$$A_h = 133,33 A_h$$

Una vez obtenido este valor, se seleccionaron 2 baterías AGM 12V 150Ah 6-CNJ-150 la cual se muestra en la Figura 2.19 y cuyas características se pueden apreciar en la Tabla 2.19. Estas baterías cumplen con los amperios horas requeridos por el sistema y al colocarlas en serie se aumenta el voltaje a 24 V, que es el voltaje requerido por el sistema. También, las baterías AGM (plomo-ácido selladas) son adecuadas para ambientes como piscinas camaroneras, debido a su

resistencia al agua y durabilidad en condiciones húmedas y corrosivas. Estas baterías están diseñadas sin la necesidad de mantenimiento constante, tienen una carcasa robusta que evita derrames y protege contra daños físicos, y son capaces de soportar ciclos profundos de carga y descarga, lo que las hace aptas para aplicaciones como aireadores de paleta en entornos acuáticos desafiantes.

**Figura 2.19**

*AGM 12V 150Ah 6-CNJ-150*



**Tabla 2.19**

*Características de la batería AGM 12V y 150Ah*

Parámetros	Valor	Magnitud
Voltaje	12	V
Capacidad Amperios hora	150	Ah
Dimensiones	484x170x241	mm
Peso	41	kg

#### **2.7.4 Peso por componente**

A continuación, se presenta en la Tabla 2.20 los pesos de cada elemento que forma parte del sistema para verificar el peso máximo del mismo.

**Tabla 2.20***Peso del sistema por componentes*

Elemento	Cantidad	Peso por UNIT Kg	Peso Total Kg
Paleta	2	5.77	11.54
Flotador	2	6.00	12.00
Motorreductor	1	8.16	8.16
Eje	1	6.30	6.30
Estructura motorreductor	1	7.37	7.37
Estructura panel solar	1	18.87	18.87
Soporte	2	0.30	0.60
SUP-DO7016	1	0.45	0.45
ELNSM72M-HC-HV 540	1	27.00	27.00
Controlador MPPT 100 30	1	1.30	1.30
AGM 12V 150Ah 6- CNJ-150	2	41.00	82.00
Cobertor motor	1	1.59	1.59
			177.18

Como se observa en la Tabla 2.20 el peso total de todos los elementos del sistema es de 177.18 Kg acercándose al límite del peso que pueden soportar los dos flotadores. Debido a que sobrepasa el 80% del peso máximo se optó por separar el sistema en dos módulos de tal forma que el sistema fotovoltaico y de control esté en un módulo, mientras que, el sistema mecánico se encuentre en otro módulo.

## **Capítulo 3**

### **3. Resultados y análisis**

En este capítulo se mostrará el diseño 3D del sistema del aireador de paletas. Al estar compuesto por 3 sistemas fundamentales: sistema eléctrico fotovoltaico, sistema mecánico y sistema de monitoreo y control, se analizarán por separado. Se presentarán los análisis por piezas diseñadas, es decir, el análisis de las estructuras y el eje del sistema de transmisión de potencia. Se detallarán los resultados obtenidos en la simulación del sistema fotovoltaico, así como el diagrama final eléctrico donde consta las conexiones del Sistema Fotovoltaico.

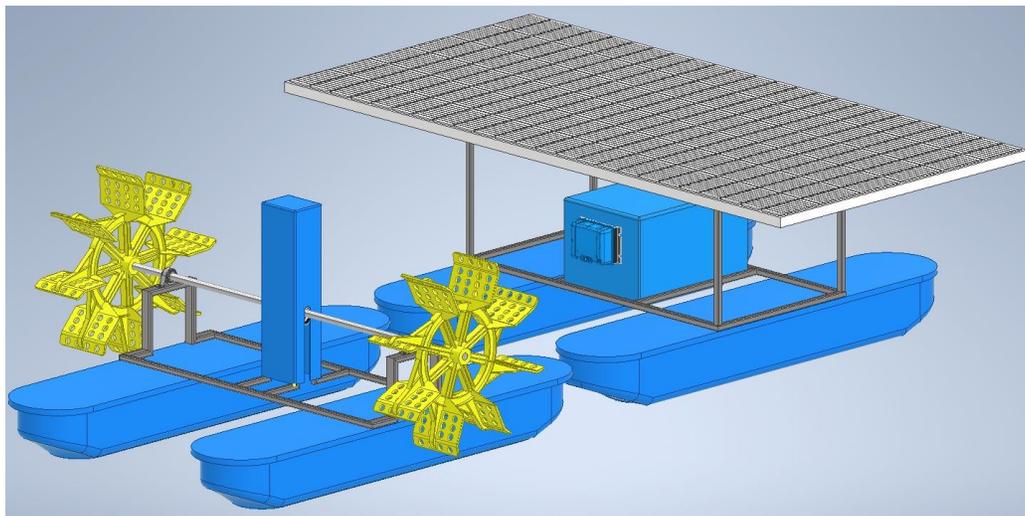
#### **3.1 Diseño sistema mecánico**

##### **3.1.1 *Ensamblaje final.***

Para el ensamblaje, se optó por dividir todo el sistema en dos balsas: una destinada al sistema de aireadores de paletas, y otra para el sistema fotovoltaico. La balsa correspondiente al aireador de paletas está compuesta por dos paletas, un eje con dos rodamientos en cada extremo, un cobertor, un motor ubicado dentro del cobertor y una estructura que mantiene unido todo el sistema. Por otra parte, la balsa del sistema fotovoltaico está compuesta por dos balsas, un panel solar, un cobertor, un par de baterías ubicadas en el interior del cobertor, un controlador solar y la estructura que soporta el panel, proporcionando una base para las baterías. En la Figura 3.1 se muestra el ensamblaje final de todo el sistema con sus diferentes componentes.

**Figura 3.1**

*Ensamblaje final del sistema*

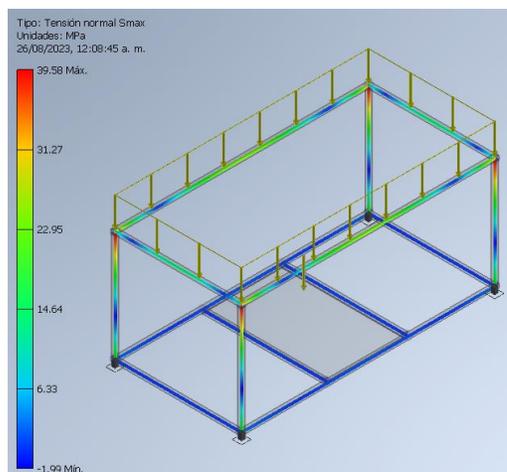


### **3.1.2 Análisis de la estructura del panel solar.**

En las Figura 3.2 y Figura 3.3, se muestran las tensiones normales y la deformación respectivamente, que se dan en la estructura del panel solar a partir de un análisis estructural en el software de inventor ubicando como carga el peso del panel solar que es 27 kg.

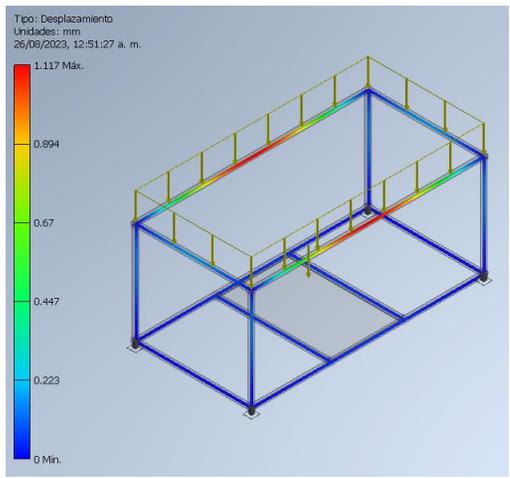
**Figura 3.2**

*Tensión máxima estructura del panel*



**Figura 3.3**

*Desplazamiento máximo estructura del panel*

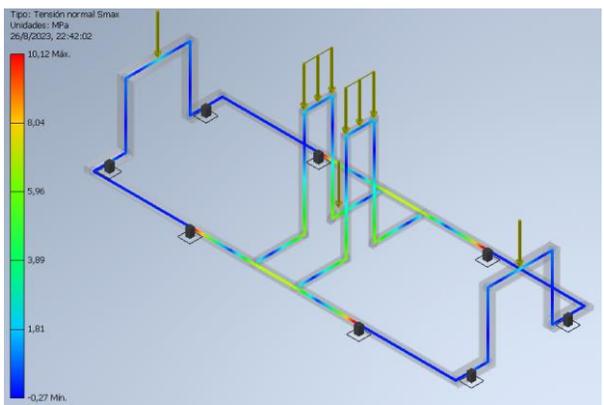


**3.1.3 Análisis de la estructura del aireador de paletas.**

En las Figura 3.4 y Figura 3.5, se muestran las tensiones normales y la deformación respectivamente, que se dan en la estructura del aireador de paletas a partir de un análisis estructural en el software de inventor ubicando como carga el peso del motorreductor que es de aproximadamente 8.16 Kg, además, de las cargas asociadas en los soportes de 56,6 N en cada uno.

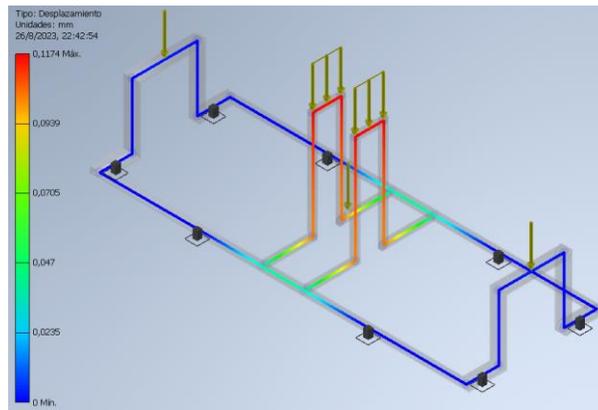
**Figura 3.4**

*Tensión máxima estructura del aireador de paletas*



**Figura 3.5**

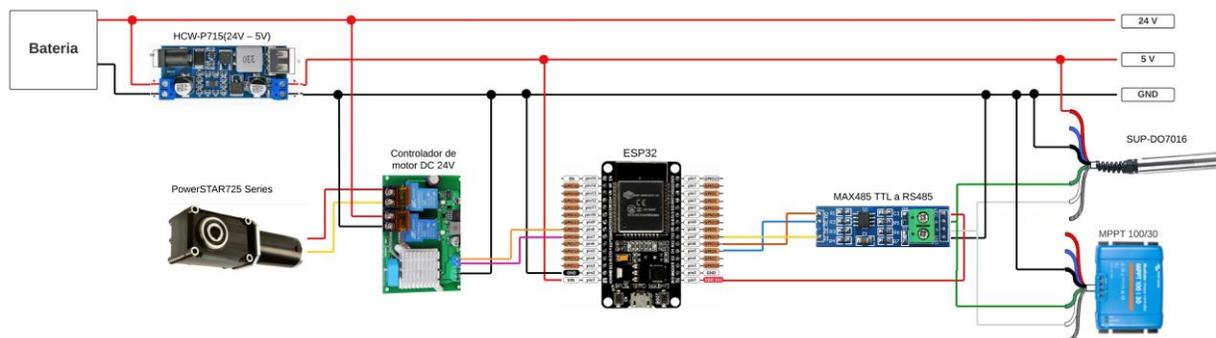
*Desplazamiento máximo estructura del aireador de paletas*



## 3.2 Resultados de diseño de control

### 3.2.1 Diagrama de conexiones del sistema de control.

En la Figura 3.6, se muestran las conexiones del sistema de control, donde se puede observar los diversos componentes como sensores, actuadores, módulos de comunicación, etc. El sistema será alimentado por una batería de 24V, en donde se usará un módulo reductor para bajar el voltaje de 24 a 5 V para la alimentación del controlador y sensor de oxígeno. La obtención de datos se da por el protocolo de comunicación RS485 mediante el módulo MAX485, el cual usa los pines Rx y Tx del ESP32 para la interpretación de datos. Finalmente, el control del motor se da a partir del controlador de motor DC, el cual permite activar y desactivar el motor como también regular su PWM.

**Figura 3.6***Diagrama de conexiones del sistema de control*

En la Tabla 3.1 se muestra la asignación de pines del controlador ESP32 con los módulos correspondientes para el funcionamiento del sistema de control.

**Tabla 3.1***Asignación de pines del controlador*

Módulos	Pines ESP32
MAX485-R0	GPIO16
MAX485-RE	GPIO4
MAX485-DI	GPIO17
Bornera encender motor	GPIO25
Bornera PWM motor	GPIO26

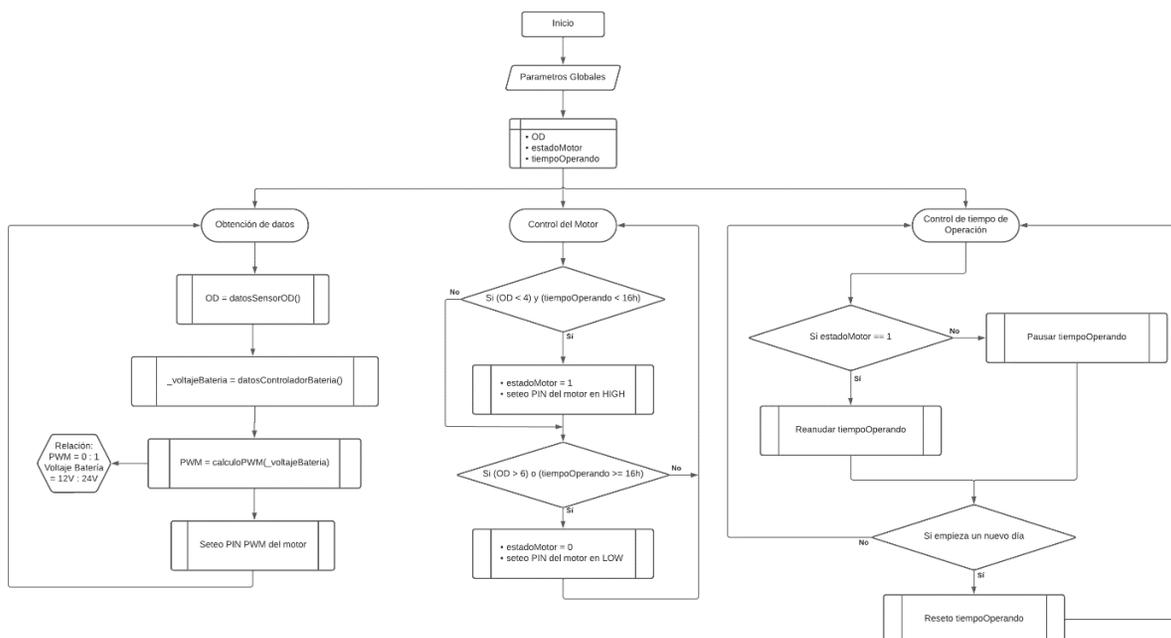
### 3.2.2 Diagrama de flujo lógico.

En la Figura 3.7, se explica mediante un diagrama de flujo la lógica de funcionamiento del sistema, a partir de los valores de los sensores y el accionamiento de los actuadores. Este diagrama explica la activación de un pin encargado de encender y apagar el motor a partir del valor tomado por el sensor de oxígeno disuelto. También se da el control del pin PWM del motor dependiendo

el valor del batería. Finalmente, se realiza un control de horas de operación asegurando el funcionamiento de 16 horas por día.

**Figura 3.7**

*Diagrama de flujo lógico*



### 3.3 Resultados de diseño eléctrico

#### 3.3.1 Sistema fotovoltaico

En la simulación del sistema fotovoltaico, se empleó el software PVsyst, el cual posibilita la generación de múltiples tablas y gráficos que detallan anualmente la energía suministrada por el conjunto compuesto por paneles solares, controlador y batería. Este simulador incorpora una amplia gama de parámetros ambientales, tales como suciedad, temperatura y características atmosféricas, con el fin de garantizar una simulación verídica que se traduzca en resultados precisos y contextualmente aplicables. En adición, el software permite la especificación de la ubicación geográfica de los paneles solares a través de una representación cartográfica, utilizando

un mapamundi que se complementa con una base de datos global que recopila las condiciones climáticas anuales de diversas ubicaciones.

En la Figura 3.8 y Figura 3.9, se muestra el diagrama de pérdidas por año y gráficos de potencia por mes suministrado al usuario del sistema fotovoltaico, que indica que en un año con un consumo de 1600 Wh por día se tiene solo una pérdida del 0.2% de energía faltante al usuario.

**Figura 3.8**

*Potencia mensual suministrado al usuario*

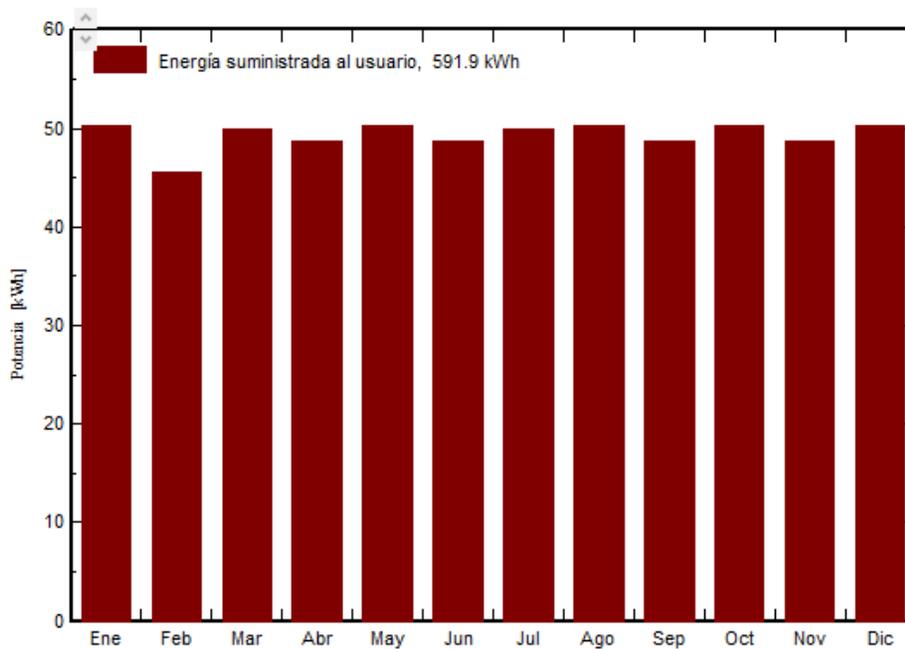
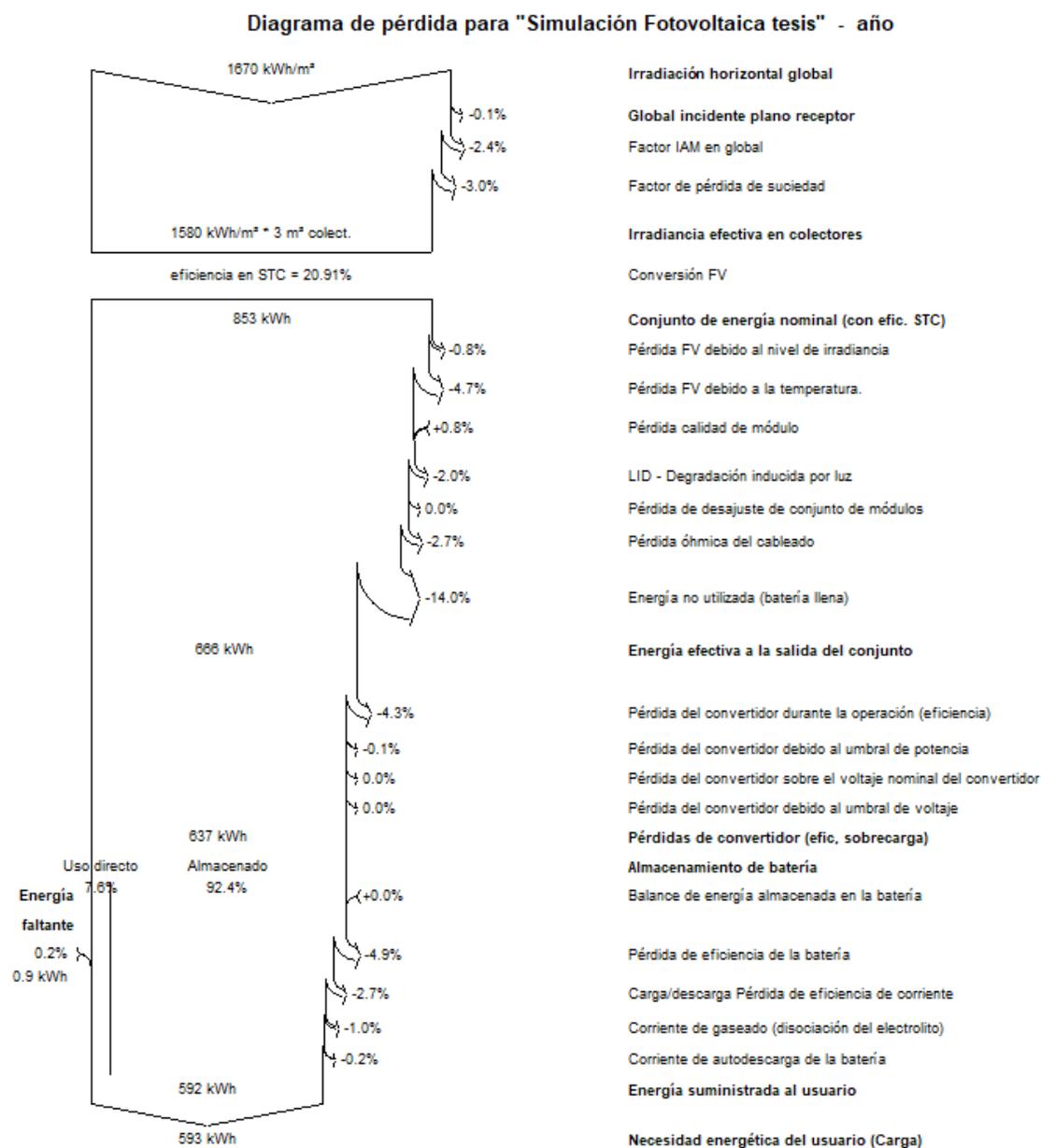


Figura 3.9

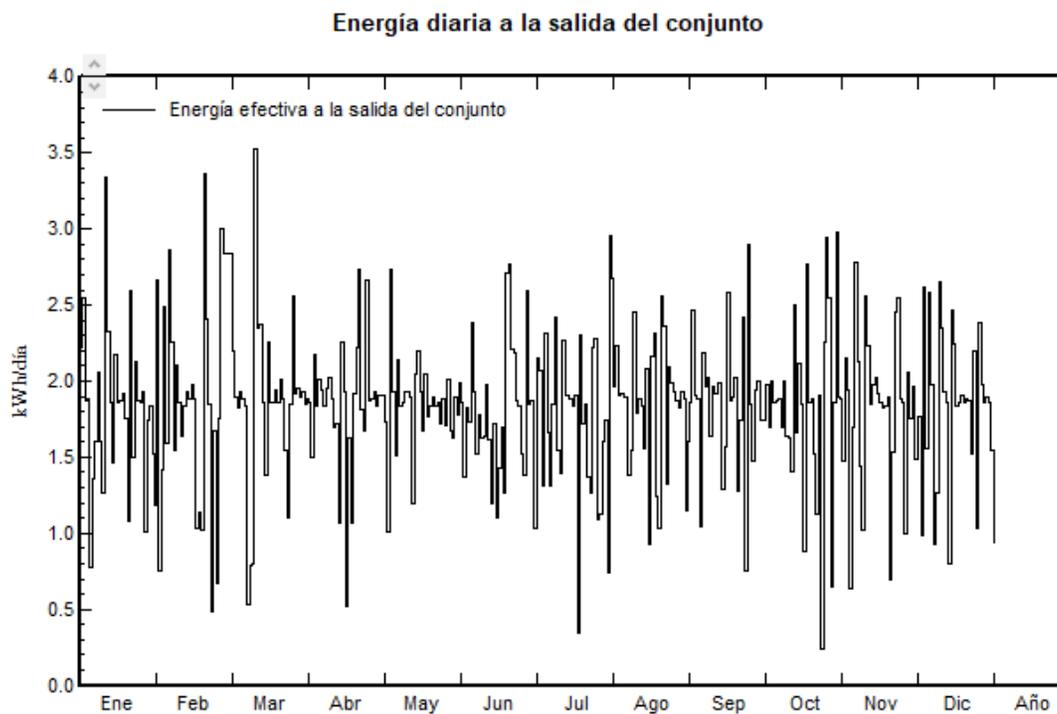
Diagrama de pérdidas de energía



En la Figura 3.10, se muestra la energía diaria a la salida del conjunto en donde se puede observar que en promedio por día se obtiene un valor promedio diario entre 1500 y 1800 Wh, mientras que se evidencian fluctuaciones marcadas en forma de picos y descensos energéticos.

**Figura 3.10**

*Energía diaria a la salida del conjunto*

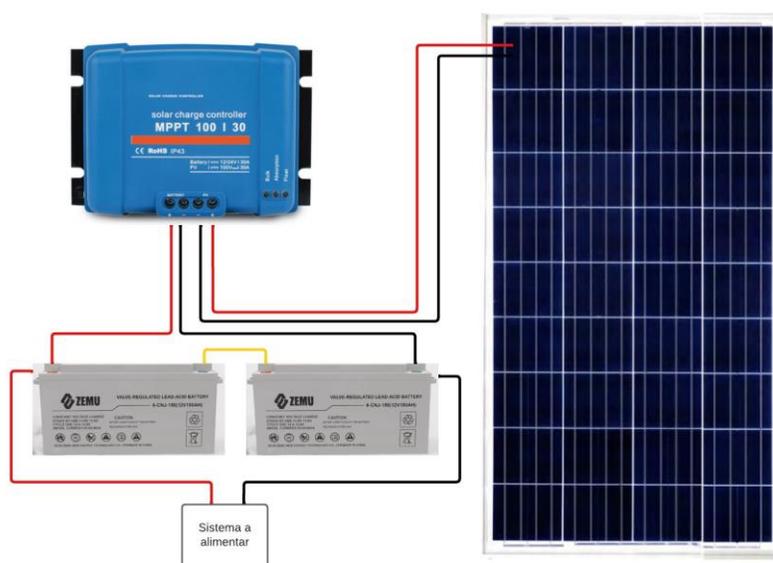


### **3.3.2 Diagrama de Conexiones del Sistema Fotovoltaico**

En la Figura 3.11, se presenta el diagrama de conexiones detallado del sistema fotovoltaico, junto con la disposición precisa de sus componentes correspondientes.

**Figura 3.11**

*Diagrama de conexiones del Sistema Fotovoltaico*



### 3.4 Análisis de costos

En la Tabla 3.2, se muestran los costos de todos los componentes y procesos para llevar a cabo la implementación del proyecto. Se puede observar que el precio del sistema es de alrededor de 2328.94 dólares, el cual dobla el precio de un aireador eléctrico convencional en donde su precio está entre los 1000 a 1500 dólares, pero este se compensa por su sistema de alimentación fotovoltaico que le permitirá al cliente ahorrar alrededor de 65 dólares mensuales en energía eléctrica si desea que el sistema funcione 16 horas por día.

**Tabla 3.2**  
*Cotización de rubros*

Tipo de sistema	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Precio
				UNIT	Total
				(USD)	(USD)
	Paletas	2	u	5.00	10.00
	Flotadores	4	u	15.00	60.00
	Motorreductor	1	u	865.12	865.12
	Eje	1	u	34.66	34.66
	Soporte y rodamientos	2	u	59.70	119.40
Mecánico	Vigas para estructura perfil 20x20x2 (6 m)	3	u	7.29	21.87
	Vigas para estructura perfil 40x20x2 (6 m)	1	u	11.29	11.29
	Plancha de acero	1	u	48.30	48.30
	Perno Uxcell M10 x 110 mm	4	u	10.00	40.00
	Tornillos cabeza hueca M5 0.79 x 50 mm	15	u	9.00	9.00
	Eléctrico y de control	ESP32	1	u	15.00
	Sensor OD	1	u	250.00	250.00

	Convertor MAX485 TTL a RS485	1	u	2.20	2.20
	Placa del controlador del motorreductor	1	u	8.00	8.00
	Módulo HCW-P715	1	u	8.42	8.42
	Panel solar	1	u	237.79	237.79
	Batería	2	u	200.37	400.74
Ensamblaje de sistema	Ensamble de los módulos de un aireador	1	u	50.00	50.00
				Total	2191.79

## Capítulo 4

## **4. Conclusiones y recomendaciones**

### **4.1 Conclusiones**

- Se diseñó, seleccionó y comprobó los diversos elementos mecánicos partiendo de los parámetros y geometrías de los componentes para que brinde una tasa de transferencia de oxígeno disuelto de 2-3 kg O<sub>2</sub>/h.
- Se seleccionó los componentes de control como el controlador, sensor y módulos esenciales para la ejecución de la lógica de control dentro del sistema para que se garantice el funcionamiento autónomo del aireador.
- Se desarrolló la lógica de control capaz ajustar los niveles de oxígeno disuelto en un rango de 4 a 6 mg/L a tiempo real.
- Se diseñó un sistema de alimentación fotovoltaico con el uso de paneles solares capaz de suministrar 1600 Wh durante 16 horas al día brindando una sostenibilidad autónoma a los aireadores.

### **4.2 Recomendaciones**

- Implementar un sistema de comunicación para presentar los datos importantes en un HMI.
- Proponer una distribución de componentes para disminuir el peso máximo del sistema.
- Realizar pruebas del sistema en diferentes situaciones climáticas.

## Referencias

- [1] D. E. Meyer, *Introducción a la Acuicultura*, Danlí: Zamorano, 2004.
- [2] F. M. González, "Brevehistoria de una gran desconocida: La Acuicultura," *Eubacteria*, n° 26, pp. 9-10, 2011.
- [3] O. Kinne, *Environmental Factors*, vol. I, John Wiley & Sons, 1970, pp. 321-561.
- [4] R. Newell, *Adaptation to environment: essays on the physiology of marine animals*, Butterworths, 1976.
- [5] É. O. Carranza, "Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno del *Penaeus vannamei* con relación a la salinidad, temperatura y peso corporal," *Revista Ciencia y Tecnología*, n° 25, pp. 55-65, 2020.
- [6] G. Goyenola, *Oxígeno Disuelto*, RED MAPSA, 2007.
- [7] M. Armijos-Suárez, . J. Macuy-Calle, E. Mayorga-Quinteros, L. Rodríguez-Valencia y M. Clavijo-Basantes, "Analysis of the economic impact of the application," *Ciencia UNEMI*, vol. 8, n° 16, pp. 11-20, 2015.
- [8] C. Barba, "Aireación de las piscinas de cultivo de tilapia roja y su influencia en la productividad," Quito, 2015.
- [9] A. F. Ruales, "Evaluación del rendimiento del camarón (*Litopenaeus vannamei*) en cautiverio a través de un sistema de producción tradicional y un sistema de producción con aireadores de paletas," Guayaquil, 2012.

- [10] "Cámara Nacional de Acuicultura," 18 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.cna-ecuador.com/por-primera-vez-el-sector-camaronero-consta-en-una-ley/>.
- [11] A. Amerise, "Cómo Ecuador se convirtió en el mayor exportador mundial de camarones (y qué papel clave jugó China)," BBC News Mundo, 21 Abril 2023.
- [12] C. Zúñiga, "Cinco innovaciones que han permitido el crecimiento del sector camaronero en Ecuador," EL UNIVERSO, 1 Enero 2023.
- [13] A. Kumar, S. Moulick y B. C. Mal, "Selection of aerators for intensive aquacultural pond," Aquacultural Engineering, vol. 56, pp. 71-78, 2013.
- [14] H. N. Rivera, "ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA DEL CAMARON EN LA," MACHALA, 2018.
- [15] C. E. Boyd, "Global Seafood," 4 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.globalseafood.org/advocate/dinamica-del-oxigeno-disuelto/>.
- [16] H. Rojas, "APLICACIÓN DE UN MODELO DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES TEMPERATURA, DENSIDAD Y OXÍGENO DISUELTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE TERMOCLINA EN LA ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA," Reportes Científicos, vol. 1, n° 2, pp. 1-14, 2010.
- [17] Nicovita, "INTERRELACIONES DE LA TEMPERATURA , OXIGENO Y AMONIACO TOXICO EN EL CULTIVO DE CAMARÓN EN TUMBES," Boletín nicovita Camaron de Mar, vol. 2, n° 8, 1997.
- [18] A. Kumar, S. Moulick y B. Mal, "Selección de aireadores para la," Aquacultura, vol. 1, n° 99, pp. 44-50, 2013.

- [19] "BalanceadosNPV – Alimentos balanceados desde 1979," 16 10 2020. [En línea]. Available: <https://balanceadosnpv.com/alimentacion-camarones-balanceados-bodegas-npv/>.
- [20] C. Molina Poveda, M. Espinoza Ortega y C. Mora Pinargote, "Efecto de un limitado suministro de oxígeno disuelto sobre la utilización del alimento y el rendimiento juvenil *Litopenaeus vannamei*," *Aquacultura*, vol. 1, n° 152, pp. 50-54, 2023.
- [21] A. Kumar, S. Moulick y B. Chandra Mal, "Selección de aireadores para la intensificación del cultivo acuícola," *Aquacultura*, vol. 1, n° 99, pp. 44-50, 2013.
- [22] T. Ahmad y C. Boyd, "Design and performance of paddle wheel aerators," *Aquacultural Engineering*, vol. 7, n° 1, pp. 39-62, 1988.
- [23] C. E. Boyd, "Pond water aeration systems," *Aquacultural Engineering*, vol. 18, pp. 9-40, 1998.
- [24] Oxipez, "Oxipez," [En línea]. Available: <https://oxipez.com/aireadores-para-piscicultura/>.
- [25] C. Rosas, E. Martinez, G. Gaxiola, R. Brito, E. Díaz-Iglesia y L. A. Soto, "Effect of dissolved oxygen on the energy balance," *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, vol. 174, n° 174, pp. 67-75, 1998.
- [26] R. C. H. NELSON, "ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA DEL CAMARON EN LA," MACHALA, 2018.
- [27] R. C. H. NELSON, "ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA DEL CAMARON," MACHALA, 2018.
- [28] Dinattek, "Dinattek," [En línea]. Available: <https://dinatek.ec/producto/aireador-paletas-monofasico/>.

[29] GIISAMEX, "GIISAMEX," [En línea]. Available:

<https://www.giisamex.com.mx/producto/difusores-de-burbuja-fina-prod/>.

## **Apéndices**

# APÉNDICE A

## Cálculo del torque y la potencia del sistema

Para obtener el torque producido por las paletas se aplicaron las fórmulas (A.1), (A.2) y (A.3). En la Tabla A.1 se pueden apreciar los parámetros iniciales a ser considerados para obtener el torque en cada una de las paletas.

**Tabla A.1**

*Parámetros considerados para el cálculo del torque*

Parámetros	Símbolo	Valor	Magnitud
Densidad del agua	$\rho$	997	$\frac{Kg}{m^3}$
Velocidad angular	$\alpha$	120	rpm
Coefficiente de inercia	C	1.28	-
Área de incidencia	A	0.018	$m^2$

$$P = 0.5 * \rho * v^2 \quad (A.1)$$

$$F = C * P * A \quad (A.2)$$

$$t = F * r \quad (A.3)$$

Debido a que el torque depende del radio que es variable, se integró con respecto a este último para obtener una mejor aproximación del torque de salida necesario para poner en marcha el sistema con ayuda de la fórmula (A.4). Como el sistema utilizará 2 paletas se encontró el torque total que produciría el sistema.

$$t = 2 * 0.5 * \alpha^2 * \rho * A * \int_a^b r^3 dr \quad (\text{A.4})$$

$$t = 2 * 0.5 * \left(120 * \frac{2\pi}{60}\right)^2 * 997 * 0.018 * \int_{0.25}^{0.35} r^3 dr$$

$$\tau_{max} = 7.86 Nm$$

Además, se obtuvo el torque máximo al momento de comenzar con el movimiento de las paletas ya que se encuentra en el punto de mayor inercia.

$$t = 2 * 0.5 * C * \alpha^2 * \rho * A * \int_a^b r^3 dr$$

$$t = 2 * 0.5 * 1.28 * \left(120 * \frac{2\pi}{60}\right)^2 * 997 * 0.018 * \int_{0.25}^{0.35} r^3 dr$$

$$t_{ci} = 10.06 Nm$$

A partir de torque máximo del sistema se obtuvo el valor de la potencia máxima necesaria considerando las dos paletas con ayuda de la ecuación (A.5):

$$W_{max} = w * \tau_{max} \quad (\text{A.5})$$

$$W_{max} = 12.56 * \tau_{max}$$

$$W_{max} = 98.72 W$$

Además, se obtuvo el torque dependiente del coeficiente de inercia:

$$W_{ci} = 12.56 * t_{ci}$$

$$W_{ci} = 126.35 W$$

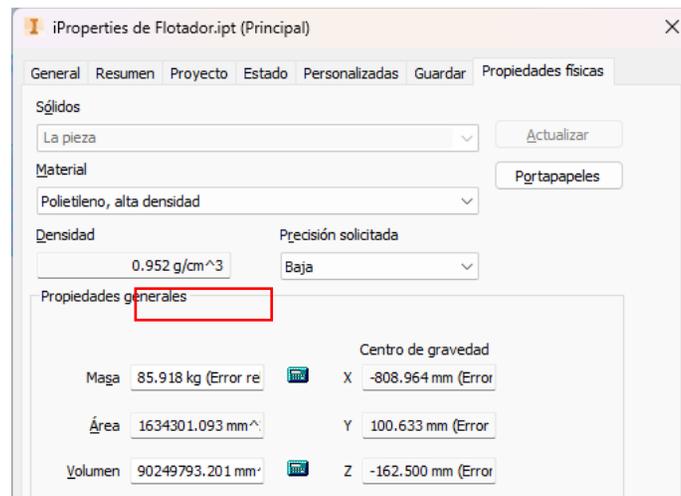
# APÉNDICE B

## Cálculo capacidad máxima del flotador

Debido a que la geometría del flotador es muy compleja se decidió utilizar los datos proporcionados por el software de Inventor, esto se puede apreciar en la Figura B.1. Al proporcionar el material del flotador el software se encarga de encontrar el volumen de la geometría, valor que es indispensable para encontrar la fuerza de empuje máxima que surge de la reacción del peso del flotador en contacto con el agua. Esto fue posible utilizando la ley de Arquímedes que nos brinda una fórmula capaz de relacionar el volumen, la densidad del medio en que se encuentre y la gravedad para encontrar la fuerza de empuje. La ecuación en cuestión es (B.1).

**Figura B.1**

*Propiedades físicas del flotador*



$$E = \rho_f * g * V \quad (B.1)$$

$$E = 997 * 9,81 * 0.090249793201$$

$$E = 882.69 \text{ N}$$

A partir de la fuerza de empuje se obtuvo el peso máximo en Kg que puede soportar el flotador con ayuda de la ecuación (B.2).

$$m = \frac{E}{g} \tag{B.2}$$

$$m = \frac{882.69}{9,81}$$

$$m = 89.97 \text{ kg} \rightarrow 90 \text{ kg}$$

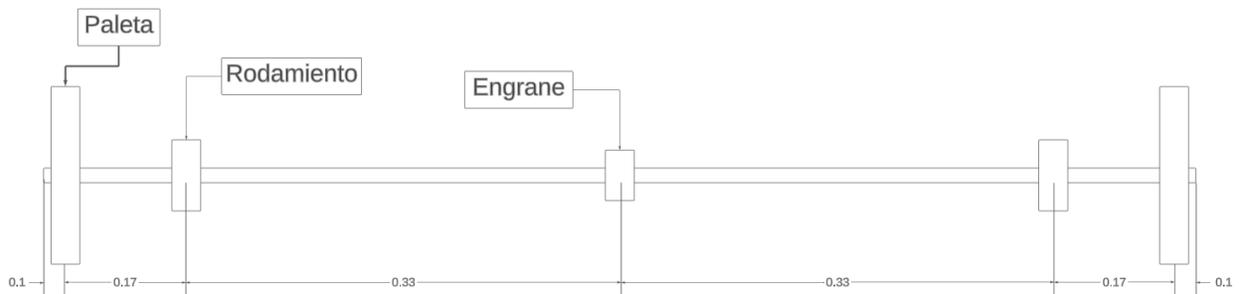
# APÉNDICE C

## Diseño de eje

Para realizar el diseño del eje de transmisión para el sistema se configuran primero las distancias para cada sección, así como los elementos que se incluirán en este, como se muestra en la Figura C.1. Cabe destacar que por requerimientos el eje debe poseer un diámetro de 25 [mm].

**Figura C.1**

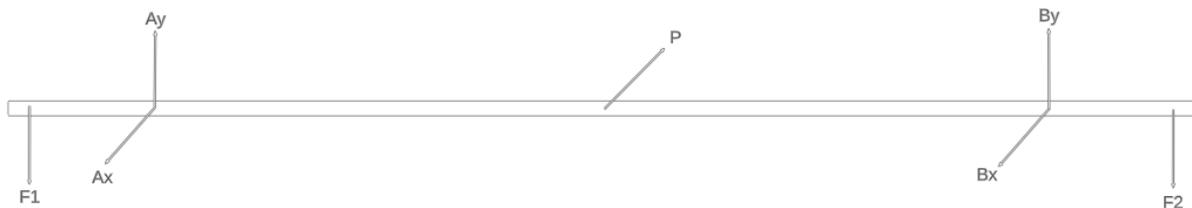
*Ejes y componentes*



A partir de los elementos se determinaron las fuerzas que actúan sobre el eje, Figura C.2.

**Figura C.2**

*Fuerzas que actúan sobre el eje*



Debido a que se conocen el torque en el engrane y la fuerza que este puede transmitir, así como las fuerzas realizadas por cada una de las paletas se pueden obtener las demás magnitudes debido a la simetría que posee el eje. Las magnitudes representadas se pueden observar en la Tabla C.1.

**Tabla C.1**

*Fuerzas y Momentos*

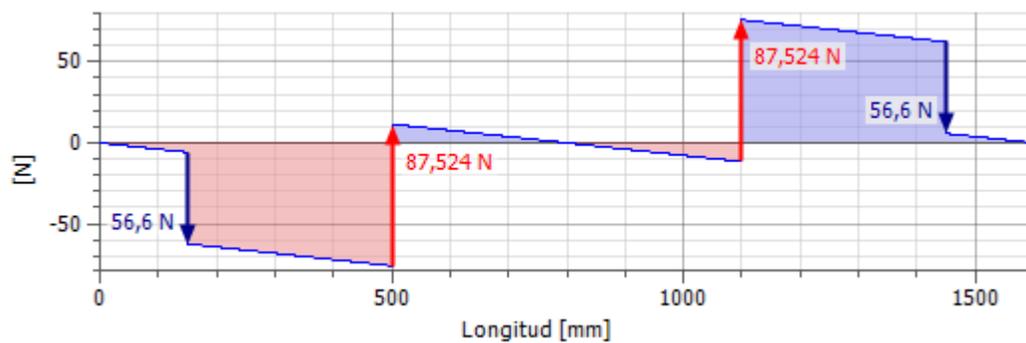
$F_1 = F_2$ [N]	Ma [Nm]	Mb [Nm]	Mp [Nm]
56.6	5.03	5.03	10.6

Se utilizó el ambiente de simulación de Inventor el cual nos proporciona una herramienta capaz de estimar las fuerzas de reacción en los soportes y emplear estos resultados para graficar los diagramas de fuerza cortante y momento flector.

En la Figura C.3 se puede observar que la fuerza de corte culmina en 0 manteniendo el equilibrio en el eje en el plano YZ, de la misma forma en la Figura C.4 se puede observar que en el plano XZ la fuerza de corte culmina en 0 manteniendo el equilibrio del eje.

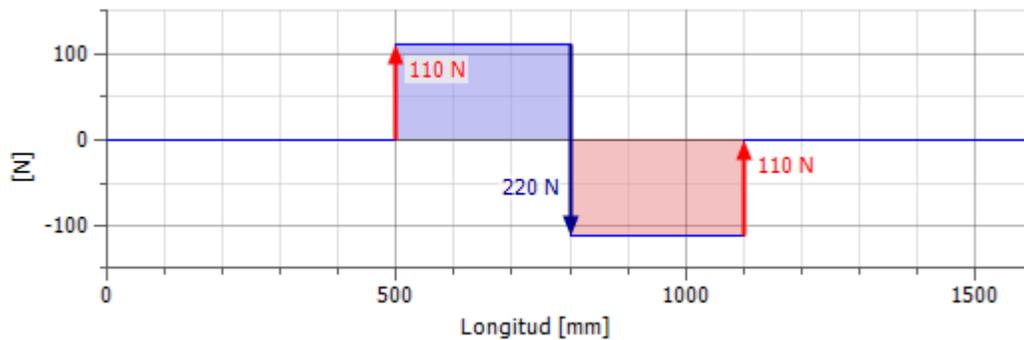
**Figura C.3**

*Fuerza de corte en el plano YZ*



**Figura C.4**

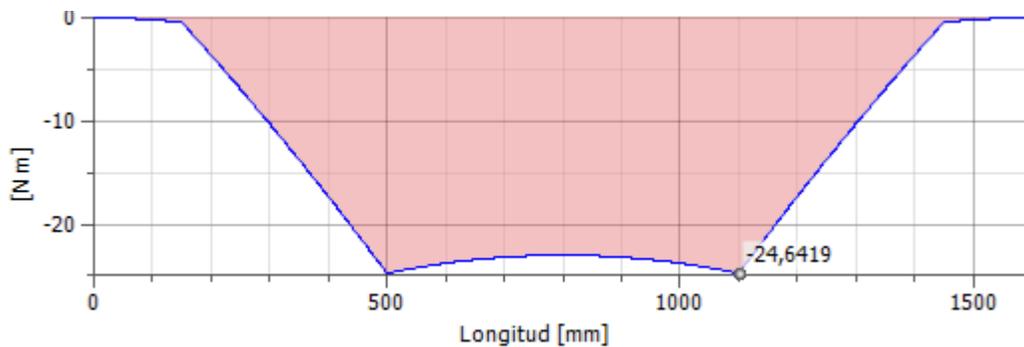
*Fuerza de corte en el plano XZ*



En las figuras Figura C.5 y Figura C.6 se puede observar que los momentos flectores en los planos YZ y XZ respectivamente culminan en 0 complementando el análisis de las fuerzas de corte y encontrando que el eje se mantiene en equilibrio.

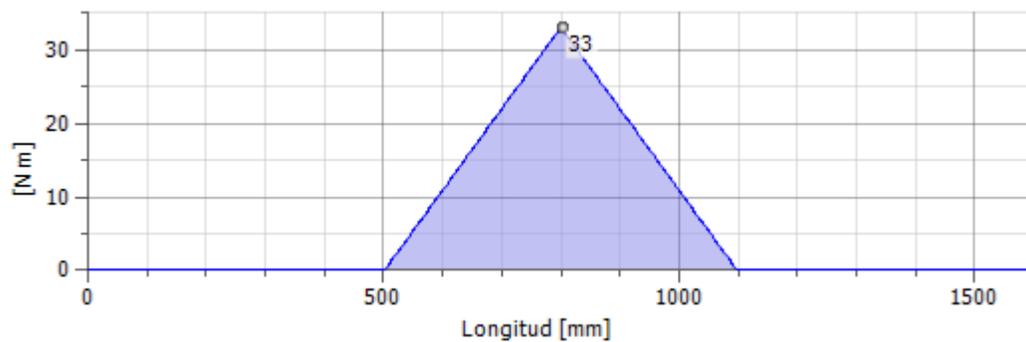
**Figura C.5**

*Momento flector en el plano YZ*



**Figura C.6**

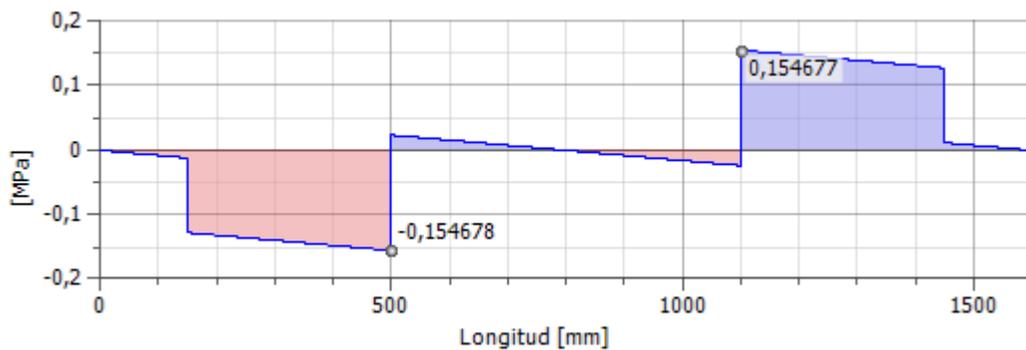
*Momento flector en el plano XZ*



En cuanto al diagrama de tensión de corte se puede observar en las figuras Figura C.7 y Figura C.8 que los esfuerzos máximos no superan los 137 Pa en el plano YZ y 224 Pa respectivamente.

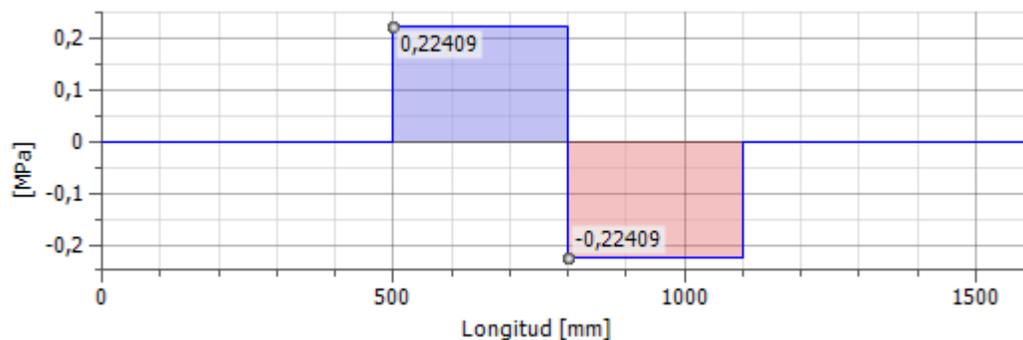
**Figura C.7**

*Tensión de corte plano YZ*



**Figura C.8**

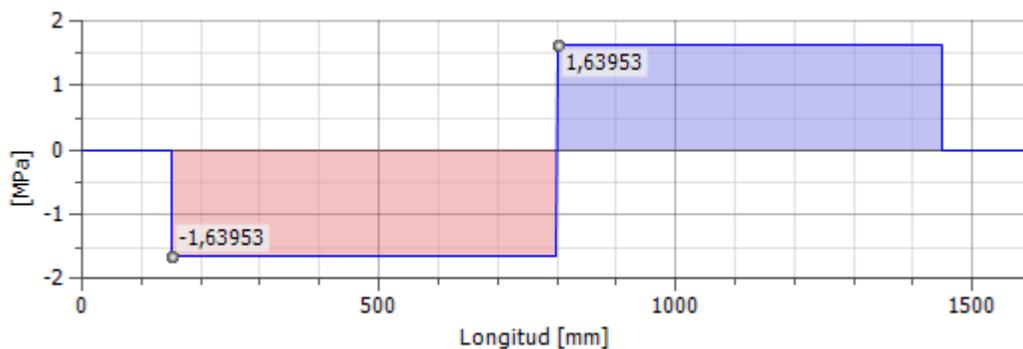
*Tensión de corte plano XZ*



También, se obtuvo el diagrama de tensión de torsión Figura C.9, donde se puede apreciar que debido a la magnitud de los momentos no tendrá problema ninguno ni a corto, ni a largo plazo.

**Figura C.9**

*Tensión de torsión*



Por último, se obtuvieron las fuerzas resultantes sobre los soportes, estas se aprecian en la Figura C.10, donde se observa que la fuerza en el eje “y” es de 87,524 N.

**Figura C.10**

*Fuerzas resultantes en los soportes*

<b>1. Soporte</b>	
$F_z$	0,000 N
$F_y$	87,524 N
$F_x$	110,000 N
$Y_y$	0,000 $\mu\text{m}/\text{N}$
$f_y$	-0,001 $\mu\text{m}$
$f_x$	-0,000 $\mu\text{m}$

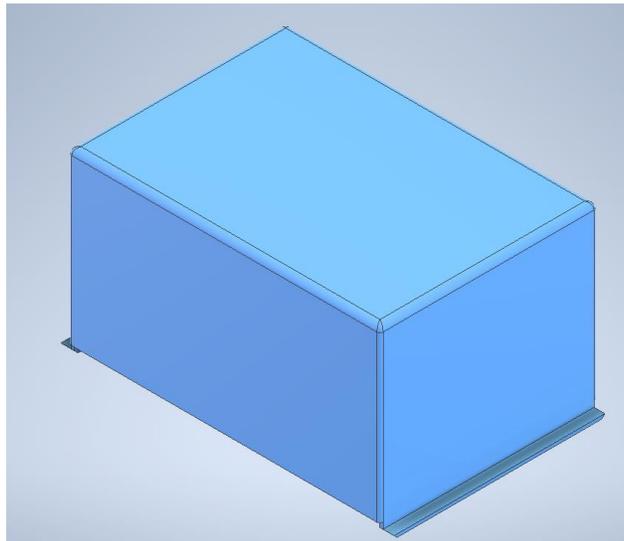
## APÉNDICE D

### Diseño de coberturas

Para cubrir las baterías se diseñó un cobertor de plástico PPS con el objetivo de proteger a las baterías de posibles factores ambientales que perjudiquen su funcionamiento. Este fue diseñado con las dimensiones respectivas de baterías colocadas una a lado de otro, el cual puede ser apreciado en la Figura D.1. Por otro lado, se diseñó un cobertor para el motorreductor, ya que al estar muy cerca de las paletas es posible que este entre en contacto con el agua, ocasionando desgastes en el material y un posible corto circuito. El diseño del cobertor del motorreductor se puede apreciar en la Figura D.2.

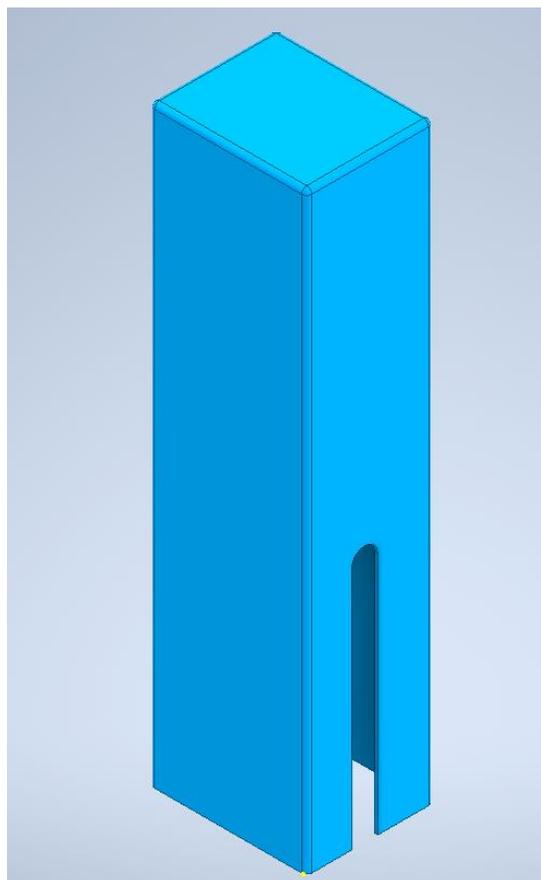
**Figura D.1**

*Cobertura baterías*



**Figura D.2**

*Cobertor motorreductor*



## APÉNDICE E

### Código de control y monitoreo del sistema aireador

```
#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include <TaskScheduler.h>
#include <ModbusMaster.h>

// Variables globales
float oxigenoDisuelto = 0.0;
bool estadoMotor = false;
unsigned long tiempoOperando = 0;

// Pins
const int MOTOR_PIN = 25; // Pin del motor
const int PWM_PIN = 26;
const int RE_DE_PIN = 4;

// IDs
const int ID_OD = 10;
const int ID_MPPT = 0;

// Registros

// Scheduler
Scheduler runner;

// Modbus
ModbusMaster _mod;

// Declaración de tareas
Task obtenerDatosSensorTask(1000, TASK_FOREVER, &obtenerDatosSensor); // Tarea
para obtener datos del sensor
Task controlMotorTask(1000, TASK_FOREVER, &controlMotor); // Tarea para controlar
el motor
Task controlTiempoTask(1000, TASK_FOREVER, &controlTiempo); // Tarea para
controlar el tiempo
```

```

/*****
  /*!
    @brief Inicializa la lectura del sensor
    @param rx pin del serial Rx
    @param tx pin del serial Tx
  */
  *****/
void initSensor(int rx, int tx, int id, HardwareSerial serial){
  pinMode(RE_DE_PIN,OUTPUT);
  digitalWrite(RE_DE_PIN, 0);
  serial.begin(9600,SERIAL_8N2,rx,tx);
  _mod.begin(id,serial);
  _mod.preTransmission(preTransmission);
  delay(200);
  _mod.postTransmission(postTransmission);
}

/*Las siguientes funciones ordenan al modulo MAX485 trabajar como receptor o
transmisor*/
// El modulo se encuentra como transmisor cuando la señal enviada es HIGH
void preTransmission()
{
  digitalWrite(RE_DE_PIN, 1);
}

// El modulo se encuentra en estado de recepción de datos cuando la señal enviada
es un LOW
void postTransmission()
{
  digitalWrite(RE_DE_PIN, 0);
}

/*****
  /*!
    @brief Lee el sensor InSitu
    @param resgitro que tipo de registro se va a sensor
    @return devuelve el valor del registro evaluado
  */
  *****/
float readSensor(int resgitro){
  uint16_t register_1, register_2; //Se define la variable result que toma el
valor de la lectura del sensorType

```

```

uint8_t result;
float value = 0;
delay(10); // Se recomienda un delay de 10 antes que vuelva a pedir otra
petición para que funcione correctamente.
result = _mod.readHoldingRegisters(resgistro, 2); // Realizamos la petición
Register
if (result == _mod.ku8MBSuccess){
    //Se lee 2 resultados en diferentes posiciones
    register_1 = _mod.getResponseBuffer(0X00); // Primer sensorType.
    register_2 = _mod.getResponseBuffer(0X01); // Segundo sensorType.
    // Convierto de uint16_t a un valor flotante
    value = convertValueToFloat(register_1, register_2);
}
return value; //Si entra el if, se actualiza el el value, caso contrario es
0.00;
}

//Convertidor uint16_t to Float
float convertValueToFloat(uint16_t register_1, uint16_t register_2)
{
    union
    {
        uint32_t l;
        float f;
    } u;
    u.l = (uint32_t)register_1 << 16 | (uint32_t)register_2 & 0x0000ffff;
    return (float)u.f;
}

// Función para obtener datos del sensor de oxígeno disuelto y control de voltaje
void obtenerDatosSensor() {
    // Lectura del sensor de oxígeno disuelto
    oxigenoDisuelto = readSensor(0x87); // 0x87 registro de OD segun datasheet de
SUP-D0-7016

    // Lectura del voltaje de la batería y ajusta el PWM
    float voltajeBateria = readSensor(0x348); // 0x348 registro de Voltaje segun
datasheet de MPPT
    int pwmValue = map(voltajeBateria, 0, 5, 0, 255);
    analogWrite(PWM_PIN, pwmValue);
}

```

```

// Función para controlar el motor
void controlMotor() {
  if (oxigenoDisuelto < 4 && tiempoOperando < 16 * 60 * 60) {
    estadoMotor = true;
    digitalWrite(MOTOR_PIN, HIGH); // Enciende el motor
  } else if (oxigenoDisuelto > 6 || tiempoOperando >= 16 * 60 * 60) {
    estadoMotor = false;
    digitalWrite(MOTOR_PIN, LOW); // Apaga el motor
  }
}

// Función para controlar el tiempo
void controlTiempo() {
  if (estadoMotor) {
    tiempoOperando++;
  }

  // Reiniciar tiempoOperando al pasar un día
  if (millis() % 86400000 == 0) { // 1 día en milisegundos
    tiempoOperando = 0;
  }
}

void setup() {
  pinMode(MOTOR_PIN, OUTPUT);
  initSensor(16,17,ID_OD,Serial); // Inicio el sensor de OD
  initSensor(16,17,ID_MPPT,Serial2); // Inicio el sensor MPPT

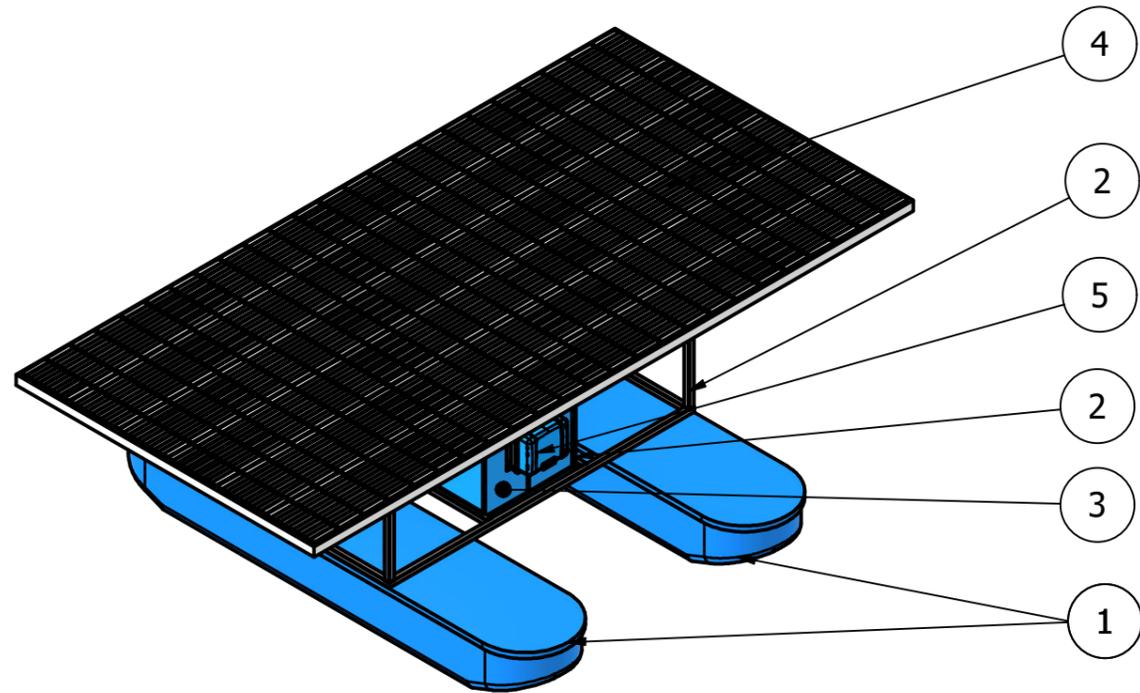
  // Agregar tareas al scheduler
  runner.addTask(obtenerDatosSensorTask);
  runner.addTask(controlMotorTask);
  runner.addTask(controlTiempoTask);

  // Iniciar las tareas
  obtenerDatosSensorTask.enable();
  controlMotorTask.enable();
  controlTiempoTask.enable();
}

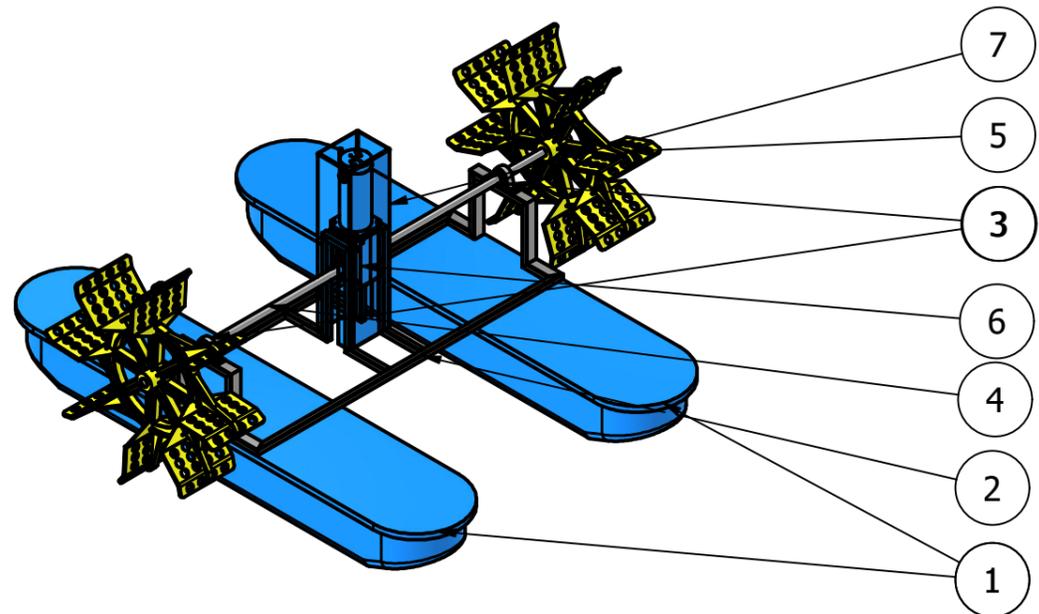
void loop() {
  // Ejecutar las tareas programadas
  runner.execute();
}

```

Balsa de sistema fotovoltaico



Balsa de aireador de paletas



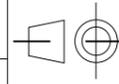
LISTA DE PIEZAS Balsa SISTEMA FOTOVOLTAICO

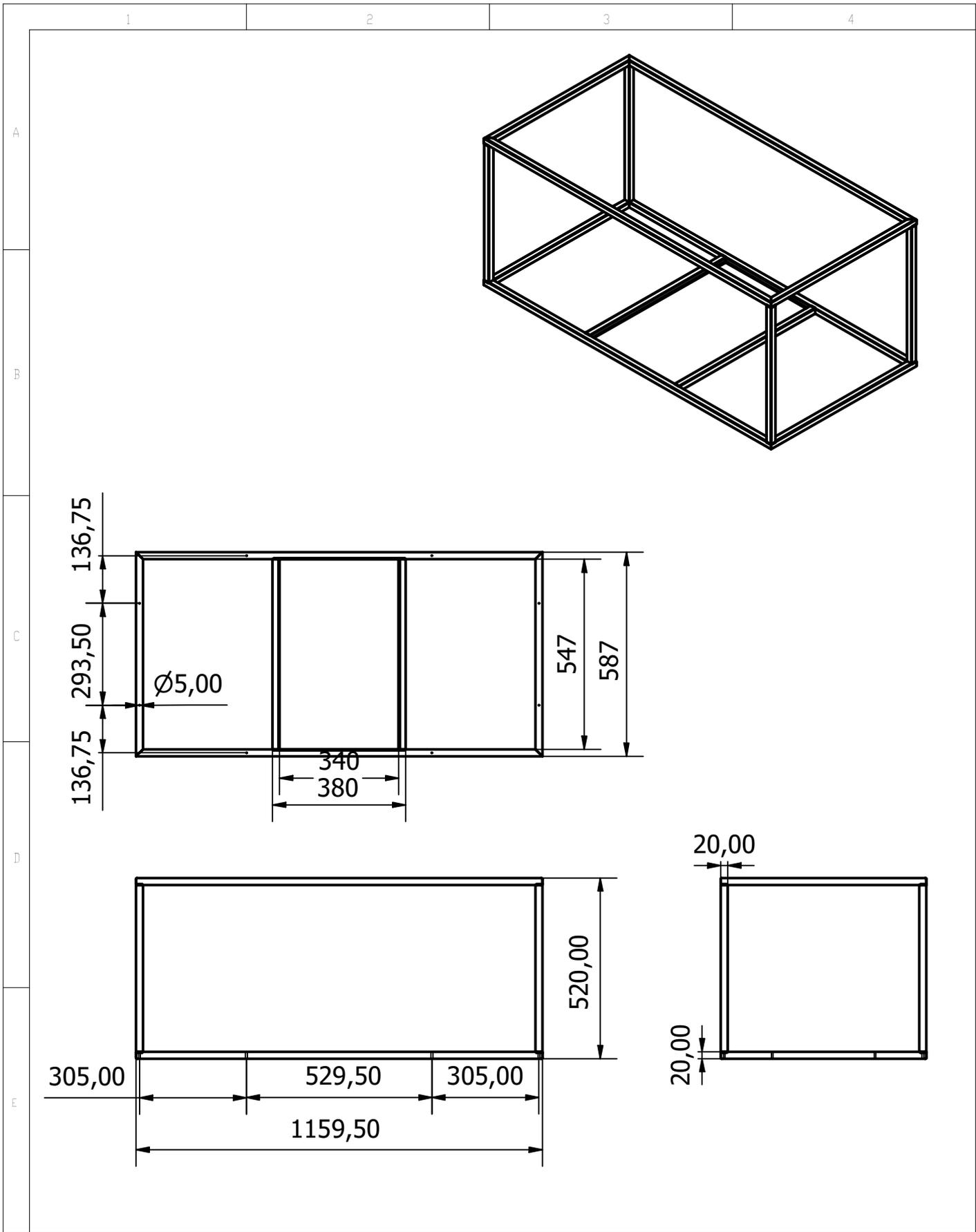
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	Flotador
2	1	Estructura del Panel
3	2	Bateria
4	1	Panel Solar
5	1	ControladorSolar
6	1	Cobertor de Baterias

LISTA DE PIEZAS Balsa AIREADOR DE PALETAS

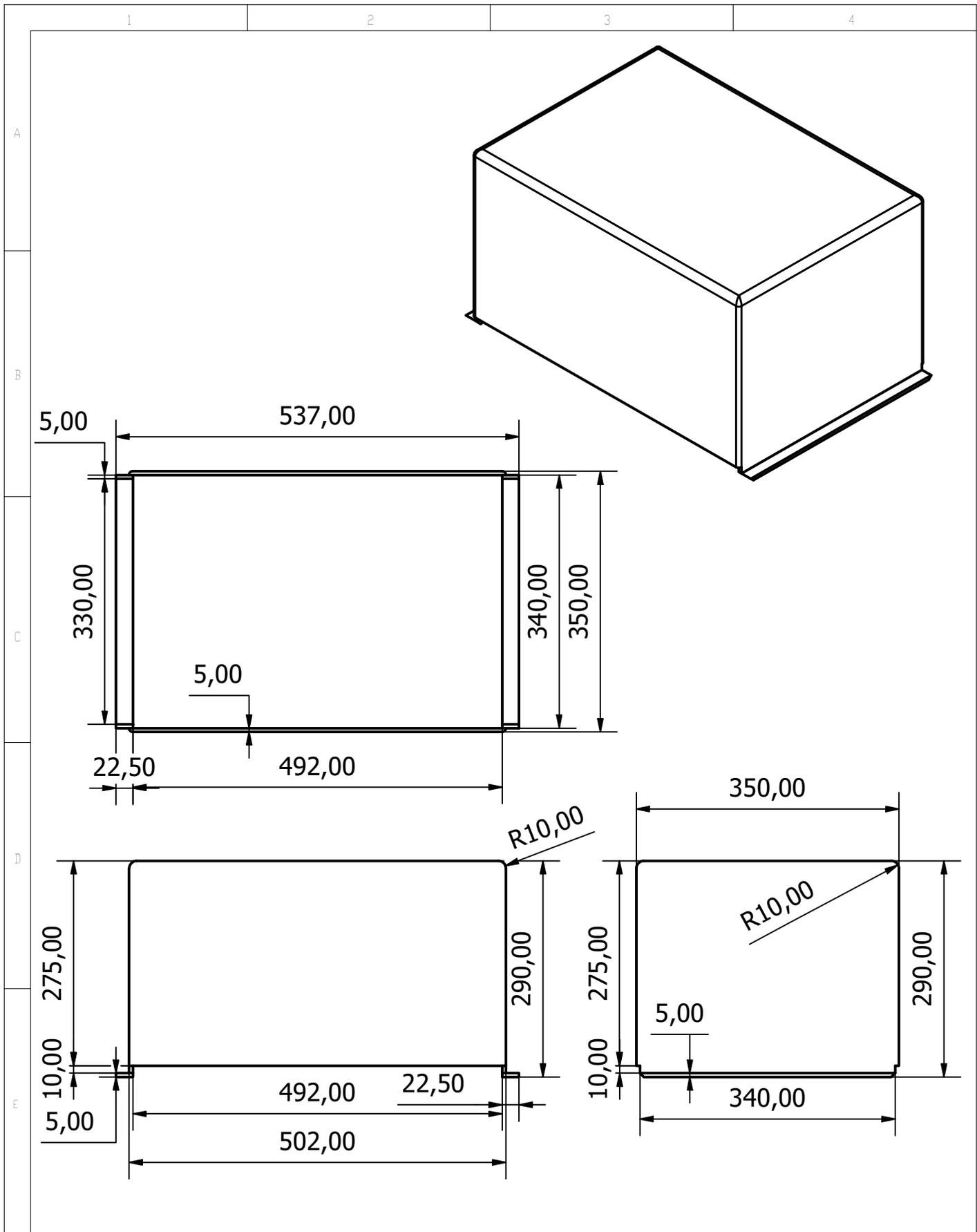
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	Flotador
2	1	EnsambleEstructura
3	2	Soporte y Rodamiento P 25 TF
4	1	Eje
5	2	Paleta
6	1	Motor-Reductor
7	1	Cobertor

				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N° TOLERANCIAS: LINEAL: S1 ANGULAR: S1	PESO	MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN		ESCALA
				DIB.	1/09/23	J.J. & J.Z.	Módulos del aireador	1:19
				REV.				
				APROB.				
						NOMERO DEL DIBUJO		
						1/6		
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:		

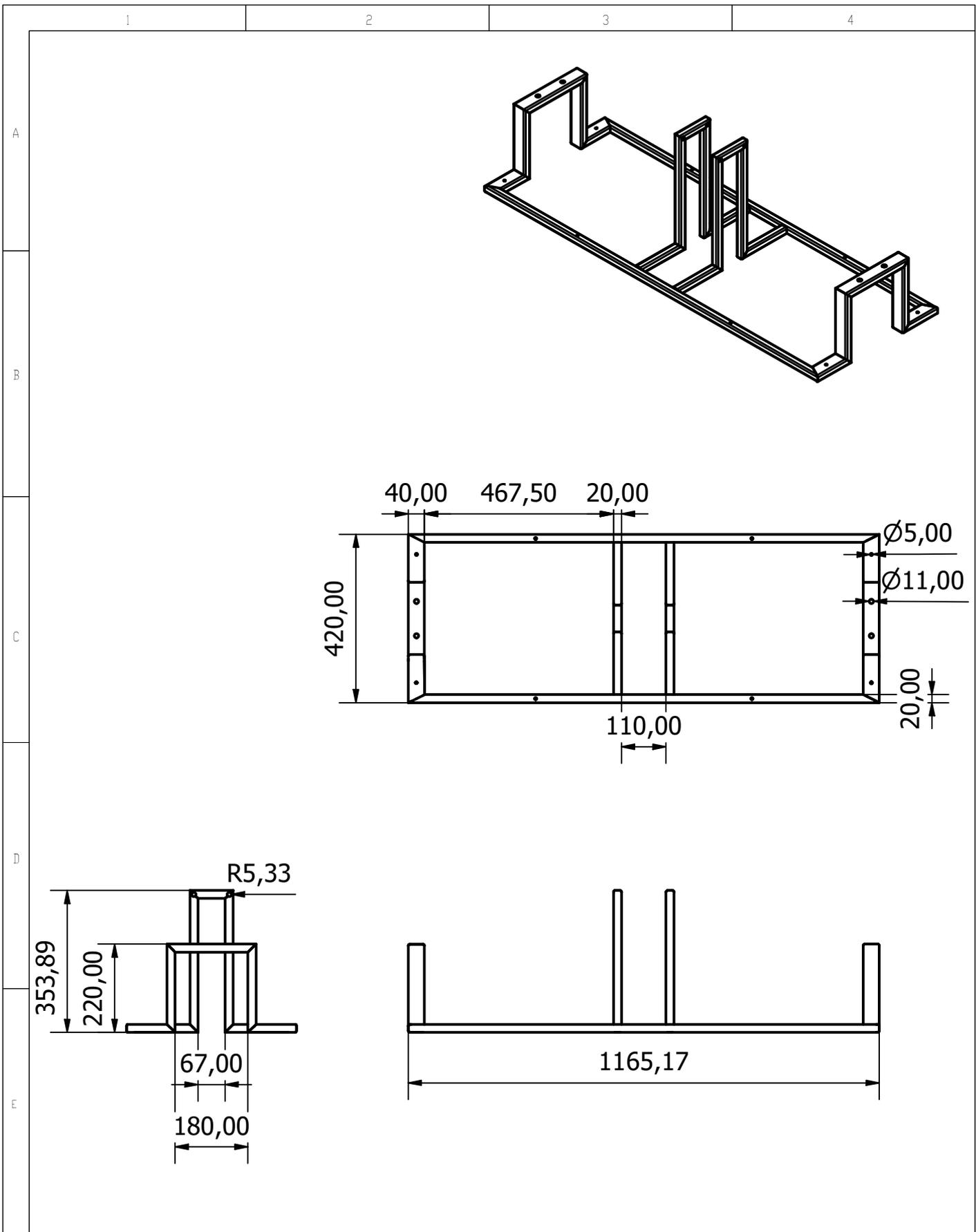


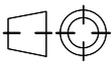


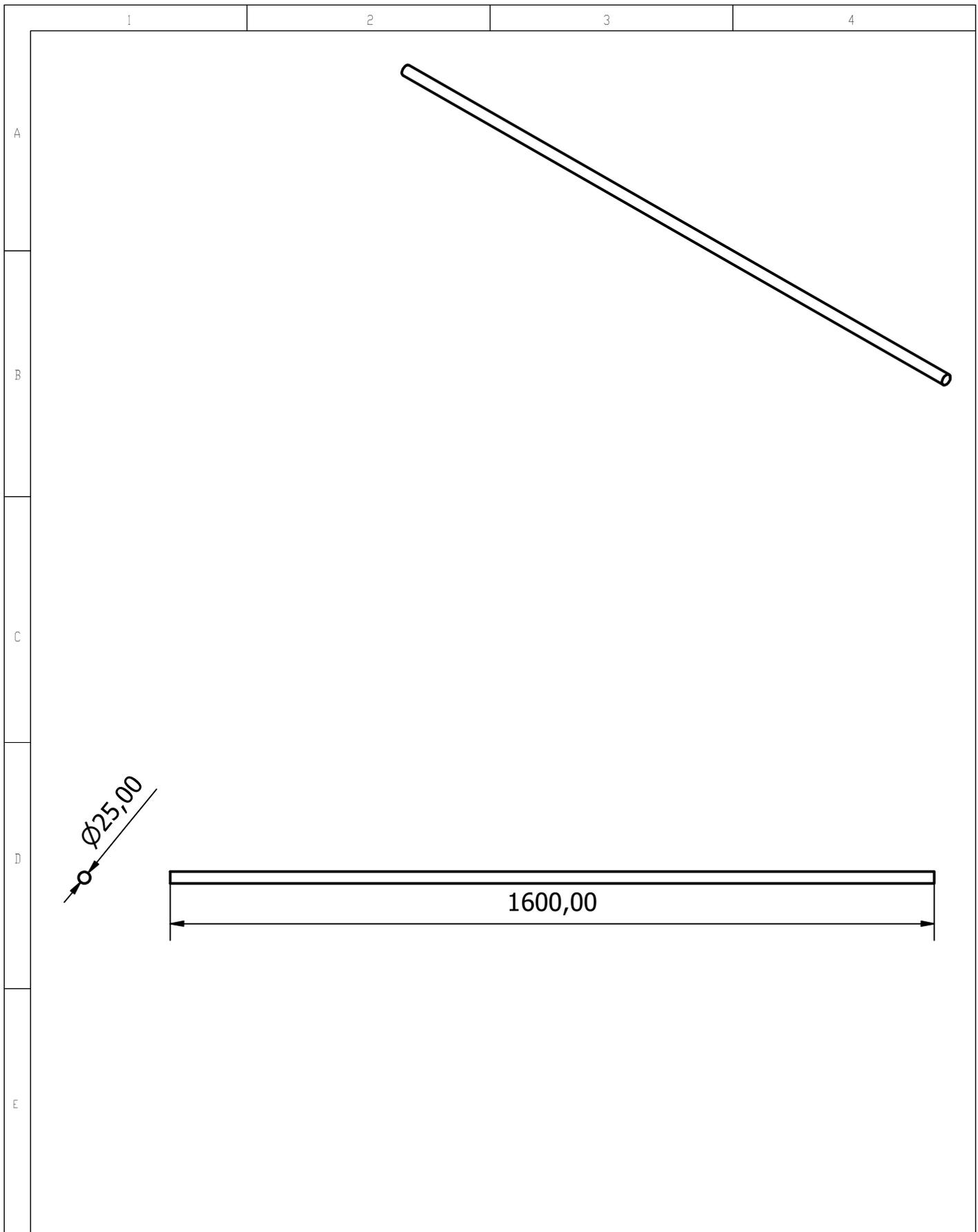
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: NT TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02	PESO	MATERIALES  Acero inoxidable 304			
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN		ESCALA	
				DIB.	01/09/23	J.J. & J.Z.	Estructura del panel solar		1:15
				REV.					
				APROB.					
							NÚMERO DEL DIBUJO		
							2/6		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUYE A:		



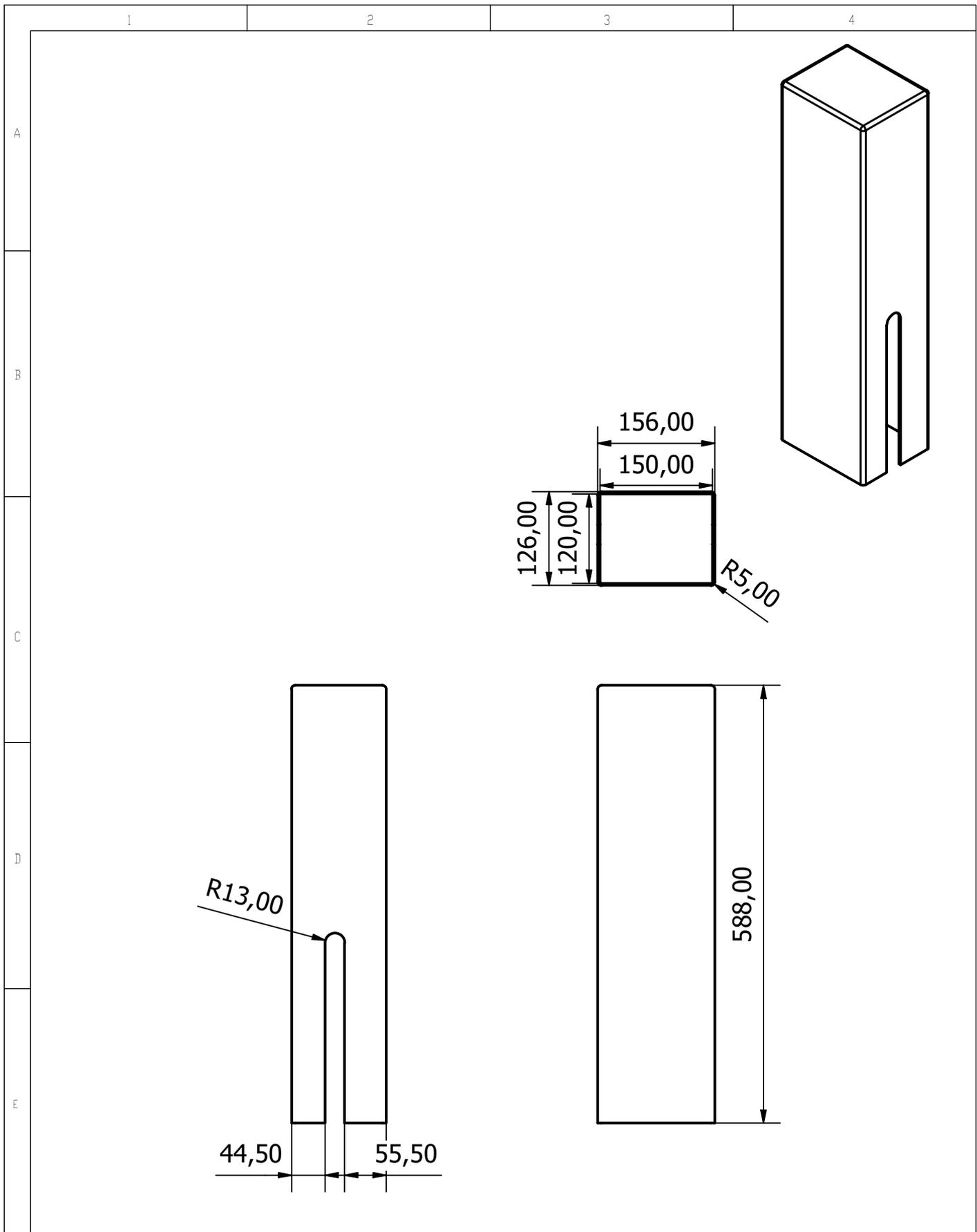
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: NP TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02	PESO	MATERIALES  Plástico PPS		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN  Cobertor de las baterías	ESCALA  1:7	
				DIB.	01/09/23			J.J. & J.Z.
				REV.				
				APROB.				
						NÚMERO DEL DIBUJO  3/6		
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:		



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02	PESO	MATERIALES Acero inoxidable 304			
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN Estructura motorreductor	ESCALA 1:13		
				DIB.	01/09/23		J.J. & J.Z.		
				REV.					
				APROB.					
						NÚMERO DEL DIBUJO 4/6			
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:			



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: LINEAL: 0.02 ANGULAR: 0.02	PESO	MATERIALES Acero inoxidable 304		
					FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN Eje	ESCALA 1:11
				DIB.	01/09/23	J.J. & J.Z.		
				REV.				
				APROB.			NUMERO DEL DIBUJO 5/6	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE		SUSTITUYE A:			



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02	PESO	MATERIALES Acero inoxidable 304		
					FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN Cobertor motorreductor	ESCALA 1:7
				DIB.	01/09/23	J.J. & J.Z.		
				REV.				
				APROB.			NÚMERO DEL DIBUJO 6/6	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUYE A:				