



Universidad **Mariana**

Dispensador autónomo de pellets para cultivos de tilapia en el de Cumbal, Nariño.

Ricardo Raphael Cando Chuquizan

Odalys Pamela Moreno Pérez

Universidad Mariana

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecatrónica

San Juan de Pasto

2024

Dispensador autónomo de pellets para cultivos de tilapia en el Municipio de Cumbal, Nariño.

Ricardo Raphael Cando Chuquizan

Odalys Pamela Moreno Pérez

Informe de investigación para optar al título de pregrado

Esp. Carlos Armando Patiño Terán

Asesor

Universidad Mariana

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecatrónica

San Juan de Pasto

2024

Artículo 71: Los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva de (los) Educando (s).

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones

Universidad Mariana

Contenido

1. Planteamiento del problema.....	9
1.1 Descripción del problema.....	9
1.1.1. Formulación del problema.....	10
1.2. Justificación.....	10
1.3. Objetivos.....	11
1.2.1. Objetivo General.....	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	11
1.4 Marco referencial o fundamentos teóricos.....	11
1.4.1 Marco de antecedentes.....	11
1.4.2. Marco teórico.....	16
1.4.3 Marco Conceptual.....	27
1.4.4. Marco legal.....	30
1.5. Metodología.....	31
1.5.1 Tipo de investigación.....	31
1.5.2. Línea y sub-línea del grupo de investigación.....	32
1.5.3. Hipótesis de la Investigación.....	32
1.5.4 Descripción metodológica.....	32
1.5.5. Validez de la investigación.....	37
2. Presentación de resultados.....	40
2.1 Resultados del objetivo 1: requerimientos técnicos.....	40
2.1.1. Parámetros nutricionales y físicos para la tilapia.....	40
2.1.2. Identificación de especificaciones para componentes del prototipo.....	41
2.2 Resultados del objetivo 2: diseño del prototipo.....	43
2.2.1. Diseño mecánico (tolva, tornillo helicoidal, sistema de dosificación).....	43
2.2.2. Diseño electrónico.....	51
2.2.3. Descripción del Código.....	53
2.2.4. Integración de hardware y software.....	54
2.3. Resultados del objetivo 3: pruebas experimentales.....	56
2.3.1. Medición de la precisión.....	56
2.3.2. Consumo energético y rendimiento.....	59
Anexos.....	67
Referencias bibliográficas.....	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Figuras

Figura 1 Taxonomía de la investigación.....	16
Figura 2 Morfología externa de la tilapia roja.....	17
Figura 3 Estanque para cultivo de tilapia.	20
Figura 4 Corrales para tilapia.	20
Figura 5 Pellets para tilapia.	22
Figura 6 Alimentación manual.	22
Figura 7 Sistemas de dosificación de alimentos en acuicultura.	23
Figura 8 Aplicación de aprendizaje automático y aprendizaje profundo en la optimización de la cantidad de alimento y selección de peces en acuicultura.	25
Figura 9 Sensor de calidad del agua y actuador en sistemas de alimentación en acuicultura.	26
Figura 10 Peso del agregado en gramos.....	44
Figura 11 Tolva reciclada.	44
Figura 12 tornillo helicoidal.....	46
Figura 13 Análisis tornillo helicoidal.....	47
Figura 14 Tornillo Helicoidal factor de seguridad.	48
Figura 15 Análisis chasis.....	48
Figura 16 Análisis chasis factor de seguridad.	49
Figura 17 Simulación en inventor.	49
Figura 18 Diagrama del menú de usuario.	51
Figura 19 diagrama de flujo código.	53
Figura 20 Construcción de prototipo.....	54
Figura 21 dispensador autónomo de pellets para cultivo de tilapia.	56
Figura 22 alcance de dispersión	56
Figura 23 prueba de pesaje.....	57

Índice de tablas

Tabla 1 Criterios de búsqueda enfocada a en alimentación para peces tilapia.	11
Tabla 2 Documentos seleccionados para el estudio de la investigación.....	12
Tabla 3 Parámetros para el cultivo de tilapia.....	15
Tabla 4 Composición y análisis bromatológico de las dietas.	21
Tabla 5 Matriz metodológica.....	33
Tabla 6 Dieta para tilapia.....	41
Tabla 7 Comparación de Materiales Utilizados en el Proyecto.....	42
Tabla 8 Comparación con el Acero Inoxidable como Alternativa.....	42
Tabla 9 Cálculos de Flujo Másico.	46
Tabla 10 Resultados de Dosificación por Ciclo.....	58

Índice de ecuaciones.

Ecuación 1 Ecuación dieta.....	40
Ecuación 2 Volumen (V) de la tolva.....	45
Ecuación 3 Cantidad de alimento almacenado.....	46
Ecuación 4 Ecuación de Precisión en la Dosificación.....	58
Ecuación 5 Potencia con carga.....	59
Ecuación 6 Potencia sin carga.....	59

Introducción.

La piscicultura en el departamento de Nariño, especialmente en el municipio de Cumbal, tiene un enorme potencial gracias a sus recursos naturales y condiciones climáticas favorables. Sin embargo, como ocurre en muchas regiones, el sector enfrenta retos importantes. Uno de los más significativos es la falta de tecnologías modernas en los procesos productivos, lo que lleva a prácticas manuales y poco eficientes, particularmente en la alimentación de los peces. Esto genera un uso inadecuado de los recursos, problemas en el desarrollo uniforme de los peces y, en última instancia, pérdidas económicas para los piscicultores.

Con este contexto en mente, este proyecto propone el desarrollo de un dispensador autónomo de pellets diseñado para optimizar el proceso de alimentación en cultivos de tilapia roja. La idea principal es utilizar tecnologías automatizadas para garantizar una dosificación precisa y controlada, lo que permitirá reducir el desperdicio de alimento, mejorar el crecimiento de los peces y contribuir a la sostenibilidad del sector.

A lo largo de este informe, se detalla cada etapa del desarrollo del proyecto. Desde la identificación de necesidades técnicas y el diseño del prototipo utilizando herramientas como Autodesk Inventor, hasta las pruebas experimentales que validan su funcionamiento. Este dispositivo no solo responde a las necesidades actuales de los piscicultores, sino que también sienta las bases para una modernización progresiva del sector, mostrando cómo la tecnología puede transformar actividades tradicionales en procesos más eficientes y sostenibles.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

En el departamento de Nariño, la piscicultura tiene un crecimiento carente debido a que, para la mayoría de los productores, en exactitud el 91,7%, es una actividad complementaria de otras que se realizan en las fincas (Merino, Bonilla, & Bages, 2013). Esto causado por la mala distribución de los ingresos y la riqueza a nivel nacional, lo cual no solo representa una situación de inequidad, sino que constituye una barrera real para el desarrollo productivo y de los mercados de productos piscicultura (Merino, Bonilla, & Bages, 2013). desperdiciando de esta forma el potencial económico que Nariño puede generar a través del sector de la piscicultura pues cuenta con grandes recursos hídricos y variedad de pisos térmicos (diagnóstico técnico de la cadena piscícola en Ancuya, chiles y el encano (Nariño Colombia), 2013).

En la actualidad debido a los pocos recursos destinados a este sector, la implementación de tecnología en los criaderos de peces es carente, limitándose a solo alarmas de nivel del agua, por lo que el proceso de crianza a día de hoy se maneja artesanalmente (diagnóstico técnico de la cadena piscícola en Ancuya, chiles y el encano (Nariño Colombia), 2013), además de no llevar un control óptimo de la temperatura y la oxigenación de los estanques, puesto que, el desarrollo de los peces depende en gran parte de la calidad del agua; por lo que para lograr una buena producción, es importante que las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua se mantengan dentro de los parámetros óptimos para la especie a cultivar. (INTAGRI, 2020) en específico, para el proceso de alimentación, se debe tener un buen control de estas variantes, debido a que, cuando la temperatura disminuye a los 15°C los peces dejan de comer y cuando la temperatura es mayor a 30°C los peces consumen más oxígeno (INTAGRI, 2020) por otro lado, también se observa que la forma en que se suministra el alimento es de manera manual consistiendo en que una persona lo arroja a los peces. El problema es que las personas se guían en su mayoría visualmente o intuitivamente, lo que genera que las porciones suministradas y el tiempo en el que se da el alimento no sea el adecuado, en consecuencia, el desarrollo de los peces se ve muy seriamente afectado, generando un patrón de crecimiento no estable, lo que a al final de cuentas va a terminar en pérdidas económicas para el piscicultor (MUÑOZ, 2014).

1.1.1. Formulación del problema

De acuerdo a la problemática es pertinente presentar la siguiente pregunta. ¿Cómo desarrollar un prototipo autónomo que se ajuste a las necesidades de los piscicultores de Nariño para la distribución de pellets, que garantice el correcto crecimiento para peces tilapia roja (*Oreochromis spp*)?

1.2. Justificación

De acuerdo con las políticas de emprendimiento o fortalecimiento empresarial, se hace necesario la incorporación de tecnología que les sirva a las pequeñas empresas a mejorar sus procesos, en el caso de los piscicultores de tilapia es necesario incorporar tecnología que les permita controlar la alimentación de la tilapia con los siguientes propósitos.

Tales como disminuir el tiempo del piscicultor en el proceso de alimentación de la tilapia, el cual actualmente se realiza de manera artesanal, siendo el piscicultor el encargado de dar alimento 3 o 4 veces al día a las tilapias, lo que requiere tiempo y disponibilidad. La automatización puede mejorar la producción al controlar adecuadamente el proceso de alimentación según las necesidades de la tilapia, lo que reduce la tasa de mortalidad en el estanque (Muñoz & Ortega, 2021).

Por otro lado, es importante resaltar el mejoramiento o reducción de los costos de producción. Al momento de dar el concentrado a las tilapias este proceso tiene un control no estandarizado pues el piscicultor no tiene una medida adecuada para dosificar la porción ideal, generando así pérdidas, porque muchas veces se arroja a los estanques más comida de la necesaria haciendo uso ineficiente de los insumos, generando al final de cuentas pérdidas para el piscicultor.

Es por esto que se desarrolla un dispositivo que asegure una dosificación precisa y controlada en la alimentación de la tilapia roja. Esto significa que el dispositivo debe entregar la cantidad exacta de alimento en cada ciclo (precisión) y hacerlo en el momento adecuado, ajustándose a las necesidades específicas del cultivo (control). De esta manera, se evita el desperdicio de alimento y se promueve un crecimiento saludable de los peces.

1.3. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de dispensación autónomo de pellets que permita una dosificación precisa y controlada en la alimentación de tilapia roja en el Municipio de Cumbal, Nariño.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los requerimientos para el desarrollo de un prototipo dispensador autónomo de pellets para cultivo de tilapia.
- Diseñar e integrar componentes de hardware y software para garantizar la correcta alimentación.
- Validar el funcionamiento del prototipo dispensador de pellets en el cultivo de tilapia a través de pruebas experimentales, asegurando su capacidad para distribuir alimento de manera precisa y oportuna.

1.4 Marco referencial o fundamentos teóricos

1.4.1 Marco de antecedentes

1.4.1.1. Criterios de búsqueda y bases de datos. Se utiliza la base de datos tal como ScienceDirect y también se introdujo el buscador especializado Google Scholar. Como se observa en la tabla 1, en los que se aplican como criterios de búsqueda los artículos más citados y relevantes de los últimos cinco años. Cabe destacar que esta investigación se realizó en marzo de 2023 enfocándose en contenido científico-académico.

Tabla 1.

Criterios de búsqueda enfocada a en alimentación para peces tilapia.

Tipo de búsqueda	Año	Criterios de búsqueda	Periodo de búsqueda
“Dispenser and automatic and fish”	2018-2023	“Automatic feeder and fish and tilapia”	2018-2023
“Farming and tilapia and feeding”	2018-2023	“Distribuidor and alimento and peces and tilapia”	2018-2023
“Alimentador de peces”	2018-2023		2018-2023

1.4.1.2. Descripción de los artículos seleccionados. En dichas cadenas de búsqueda se seleccionaron nueve artículos entre ellos dos trabajos de grado encontrados en Google Scholar, dichos artículos se los escogió puesto que la información brindada en los resúmenes contiene uno o varios tópicos de interés para desarrollar la investigación.

En la tabla 2 se observa la síntesis de artículos útiles para esta investigación, de los cuales se extrajo información clave. Por ejemplo, se identificaron parámetros esenciales para el diseño del sistema de dosificación, como los requerimientos nutricionales de la tilapia roja, los métodos actuales de alimentación en piscicultura y las tecnologías existentes en automatización. Además, se recopiló información sobre el impacto de la calidad del agua y la temperatura en el comportamiento alimenticio de los peces.

Tabla 2

Documentos seleccionados para el estudio de la investigación.

Número	Autores y año	Título
1	Ajith Abraham, Sujata Dash, Subhendu Kumar Pani (2021)	Sistema de monitoreo basado en IoT para piscicultura de agua dulce: análisis y diseño
2	Shafaq Fátima, Wajeeha Komal, Farkhanda Manzoor, et al. (2021)	Análisis del rendimiento de crecimiento, estrés, perfil de ácidos grasos y

		aminoácidos en Tilapia (Oreochromis niloticus)
3	Lara Parata, Joshua Noiney, Marwan E. Majzoub, et al. (2022)	El papel de las prácticas de cultivo en la asimilación de nutrientes en el cultivo de tilapia a pequeña escala
4	Ocampo Caro Edwin Eliecer; Ospina Buitrago Jeeison (2014)	Diseño e implementación de un sistema dosificador de alimento controlado con la plataforma embebida para tilapia roja.
5	Nolberto Antonio Carcamo Carcamo Valdivia (2008)	Sistemas de alimentación automático centralizado para peces en balsas jaulas.
6	Madrid Pérez Juan Antonio; Martínez Bebia Manuel; Sánchez Vázquez Javier; Zamora Navarro Salvador (1998)	Dispensador automático de alimento para peces.
7	Federación colombiana de acuicultores	Cartilla de productividad para tilapia en Colombia.
8	Sergio José Toledo Pérez y María Cristina García Capote (2000)	Nutrición y Alimentación de Tilapia Cultivada en América Latina y el Caribe.
9	El Shal A. M., El Sheikh F. M., Elsbaay A. M.	Design and fabrication of an automatic fish feeder prototype suitable for tilapia tanks
10	Mattos B. O., Sousa E. D. S., Saboia W. A., et al.	Effects of three feeding strategies on growth performance in Amazonian

fish (Colossoma
macropomum).

En los últimos años la piscicultura ha sido un tema sobre el cual se ha investigado más, pues es del interés colectivo, porque como se puede notar la automatización y los sistemas de organización inteligentes en el campo de la crianza de los animales va en avance, por lo cual es apropiado incluir a los peces, en este caso a los que se encuentran en piscinas, estanques o jaulas.

Es importante mencionar que sistema tradicional de los estanques hoy en día, tiene bastantes problemas, como lo son su construcción, el mal control de variables las cuales son el oxígeno, el caudal, el pH entre otros; la sobrepoblación de los peces y el manejo de la alimentación. Con lo que, podríamos resumir aún se lleva un sistema bastante artesanal por lo cual existe una necesidad urgente para mejorar el modo en que se cultivan además de mejorar la calidad de la producción de peces.

De la misma manera esto ha llevado a que se investigue la calidad del agua pues, es una variable la cual depende de las características físicas, biológicas y químicas, incluido el contenido de amoníaco, la cantidad de oxígeno disuelto, la potencia no regulada del hidrógeno (pH), la temperatura y la presión. El monitoreo y la medición continuos de estos parámetros para garantizar la sostenibilidad de la producción pesquera plantea algunos desafíos tanto para los piscicultores de subsistencia como para los comerciales (Agricultura inteligente basada en IA, Edge e IoT, 2021). En otras palabras, la calidad del producto depende mucho de dar un buen seguimiento a la calidad del agua en los estanques, asimismo, esto puede afectar de manera significativa a los piscicultores para permanecer en el sector por ende afectaría su economía.

Alrededor de la temática Sergio José Toledo Pérez y María Cristina García Capote brindan información valiosa acerca de la nutrición y alimentación de la tilapia roja, compilando la mayor información posible sobre la tilapia dado que es un pez con cualidades importantes como, adaptarse fácilmente al ambiente y poder ser criado en diferentes sistemas de cultivo, además, de tener un buen sabor y muchos nutrientes. Este texto trata un tema bastante importante para la investigación, ya que habla como en Colombia no existe un control de calidad riguroso en las dietas

comercializadas, es decir, que, aunque ya existen unas dietas establecidas estas la mayoría de veces se ven ignoradas por los cultivadores, dando como consecuencia una mala calidad de cultivo y una pérdida importante en la economía de los mismos. Es importante resaltar que artículo fue publicado en el año 2000 pero hasta el día de hoy, no se ha hecho gran avance y la problemática aún sigue presente, a pesar de que ya existe la Federación Colombiana de Acuicultores, pero en el campo prevalece la informalidad, y esta no puede llevar un control óptimo de la implementación de los reglamentos para llevar buenas cosechas en el caso de la tilapia.

De la misma manera la Federación Colombiana de Acuicultores, aporta información de las variables generales a tener en cuenta para el cultivo de tilapia, los cuales son: el agua y control de calidad de la misma, por lo que, si no lleva un buen mantenimiento puede ocasionar problemas en los organismos acuáticos; la temperatura, que es una variable importante, para un desarrollo óptimo, debe estar entre 25°C y 32°C principalmente, dado que si esta baja a los 20°C el pez deja de comer, y si esta baja aún más, este muere. También no debe exceder los 30°C debido a que los peces empiezan a consumir más oxígeno. Además, es importante mencionar que si la temperatura es inestable puede causar que el pez se estrese y muera. En la tabla 3 se indican los parámetros ideales para el cultivo de tilapia.

Tabla 3

Parámetros para el cultivo de tilapia.

Parámetro	Valor óptimo
Temperatura	20.0 – 32.0 °C
Oxígeno Disuelto	5.0 – 9.0 mg/l
pH	6.0 – 9.0
Alcalinidad Total	50 – 150 mg/l
Dureza Total	80 – 110 mg/l
Calcio	60 – 120 mg/l
Nitritos	<0.1 mg/l
Nitratos	<50 mg/l
Amonio Total	<0.05 mg/l
Hierro	<0.2 mg/l
Fosfatos	<0.2 mg/l

Dióxido de Carbono	5.0 - 10 mg/l
Sulfuro de Hidrógeno	<0.002 mg/l

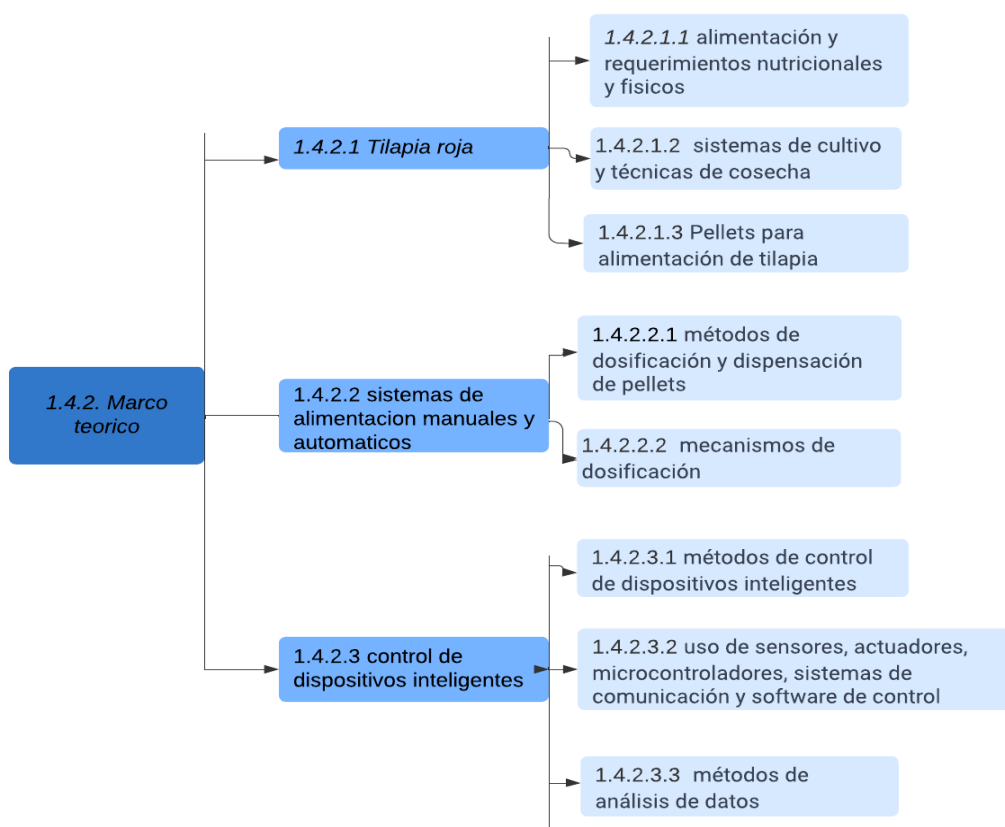
Fuente: Federación acuícola de Colombia

1.4.2. Marco teórico

A continuación, en la figura 1 se muestra la taxonomía de la investigación, útil para identificar los conceptos útiles y necesarios para entender de manera más asertiva la investigación realizada.

Figura 1

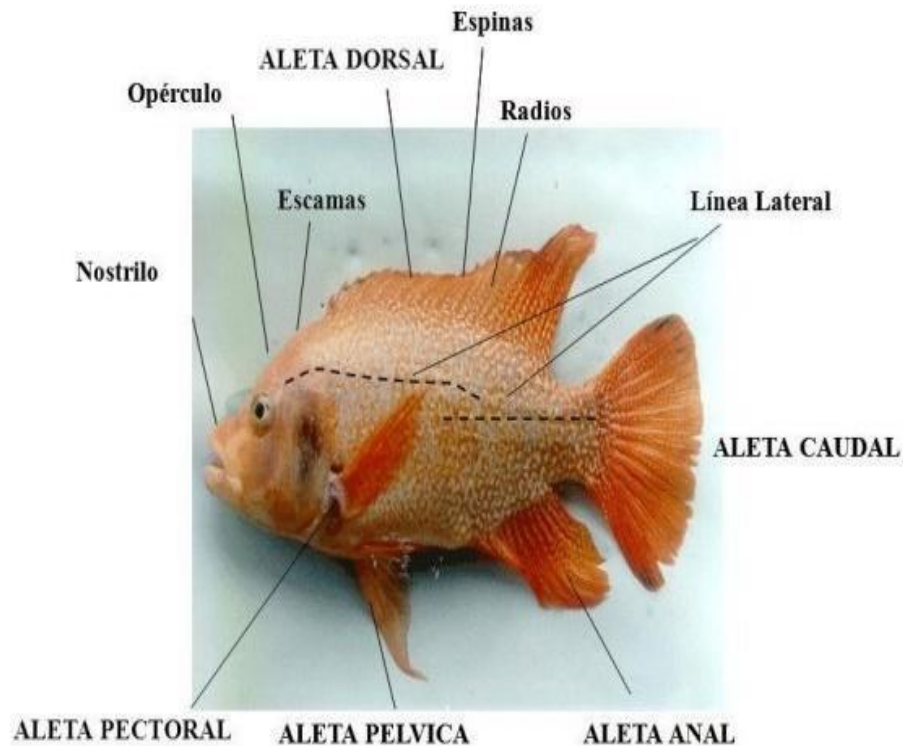
Taxonomía de la investigación.



1.4.2.1. Tilapia Roja. La tilapia es un término que se usa para referirse a un grupo de peces con gran valor comercial, todos ellos pertenecientes a la familia Cichlidae. Curiosamente, esta palabra tiene origen en Bechuana, África, donde “thlape” significa simplemente “pez” (Capote, 2000). Como se puede observar en la figura 2, este pez, además de ser bastante adaptable, es ideal para diferentes sistemas de cultivo gracias a su capacidad de sobrevivir en diversas condiciones. Su carne no solo es nutritiva, sino que también tiene un sabor agradable, lo que explica por qué ha llegado a ser el segundo pez de agua dulce más cultivado en todo el mundo (Capote, 2000).

Figura 2

Morfología externa de la tilapia roja.



Fuente: Blogspot, Cría de mojarra (2013)

1.4.2.1.1. Alimentación y requerimientos nutricionales y físicos.

Hábitos alimenticios

Las tilapias, en especial las del género *Oreochromis*, tienen una dieta muy variada, lo que las clasifica como omnívoras. Pueden alimentarse tanto de plantas acuáticas como de microorganismos, incluyendo algas, bacterias y zooplancton. Esta flexibilidad alimentaria les permite adaptarse a diferentes entornos (Martínez, 2016).

Además, están equipadas con branqui-espinas, estructuras que funcionan como filtros para extraer su alimento directamente del agua. Este proceso es complementado por sus dientes faríngeos, que trituran los alimentos antes de ser digeridos en un intestino bastante largo, entre 7 y 10 veces su tamaño corporal, optimizando la absorción de nutrientes (Martínez, 2016).

Otro punto interesante es que las tilapias se adaptan fácilmente a los alimentos artificiales, algo muy útil en la piscicultura. Su dieta en estos entornos puede incluir una mezcla de desechos vegetales, semillas y cereales, aunque su alimentación principal sigue dependiendo de los nutrientes que obtienen de su entorno acuático, los cuales suelen tener un contenido proteico de hasta el 55% en peso seco (Martínez, 2016).

Requerimientos nutricionales.

La alimentación de los peces, especialmente cuando se utilizan concentrados comerciales, representa una parte significativa de los costos totales de producción. Por esta razón, resulta fundamental garantizar que los alimentos estén balanceados y que proporcionen los nutrientes exactos que los peces necesitan. Cabe mencionar que los alevines tienen requerimientos cualitativamente similares a los peces adultos en su etapa final de desarrollo. Sin embargo, en términos de cantidad, los peces jóvenes demandan mayores niveles nutricionales para su crecimiento óptimo (Diana M. Torres-Novoa, 2021).

En cuanto a los requerimientos de proteína, se ha identificado que varían entre el 26,8 % y el 41,3 %, dependiendo de la etapa biológica del pez. Además, la relación energía/proteína ideal se sitúa en torno a 9,5 kcal/g PB, lo que favorece un desempeño zootécnico adecuado. En lo que respecta al fósforo, se estima que los peces necesitan entre un 0,75 % y un 0,46 %, con una proporción máxima de fósforo/calcio (P/Ca) de 1:1,5. Esto último es clave para evitar problemas ambientales relacionados con el exceso de fósforo. Aunque estos valores han sido establecidos en otros países, se resalta la necesidad de que en Colombia se desarrollen investigaciones que definan los

requerimientos específicos de la tilapia, considerando las características agronómicas locales y las materias primas disponibles en el país (Diana M. Torres-Novoa, 2021).

Requerimientos físico-químicos.

Para garantizar el desarrollo óptimo de la tilapia en los sitios de cultivo, es esencial mantener ciertas condiciones medioambientales dentro de rangos específicos. En cuanto a la temperatura, el intervalo ideal está entre 20 y 30 °C. Aunque los peces pueden sobrevivir a temperaturas más bajas, por debajo de los 15 °C su crecimiento se detiene, mientras que entre 26 y 29 °C las condiciones son óptimas para su reproducción. Por otro lado, el rango máximo tolerado se encuentra entre 37 y 42 °C, valores que podrían ser críticos para su salud (INTAGRI, 2020).

Respecto al oxígeno disuelto, aunque las tilapias pueden soportar concentraciones mínimas cercanas a 1 mg/l por cortos periodos, un nivel tan bajo disminuye considerablemente su consumo de alimento y, en consecuencia, su crecimiento. Lo más adecuado es mantener los niveles entre 2 y 3 mg/l, especialmente en situaciones de poca luz, para garantizar su bienestar (Federación Colombiana de Acuicultores, 2020).

En términos de pH, el rango ideal se sitúa entre 7 y 8, ya que valores inferiores a 5 no son tolerables, aunque pueden adaptarse a niveles alcalinos de hasta 11 (Capote & Pérez, 2000).

La turbidez del agua también juega un papel importante; se recomienda mantener una visibilidad aproximada de 30 centímetros, medida con un Disco Secchi (Federación Colombiana de Acuicultores, 2020).

Por otro lado, la altitud óptima para los cultivos oscila entre los 850 y 2,000 metros sobre el nivel del mar, lo que se alinea con las condiciones naturales de muchas regiones productoras (INTAGRI, 2020). Finalmente, la luminosidad o radiación solar es un factor crucial, ya que influye en el proceso de fotosíntesis de las plantas acuáticas, favoreciendo la productividad primaria y la generación de alimento natural en el ecosistema del estanque (Capote & Pérez, 2000).

1.4.2.1.2. Sistemas de cultivo y técnicas de cosecha.

Estanques

Comúnmente la tilapia es fácil de cultivar y por lo general se cultiva en estanques o también llamadas piscinas. En la figura 3 se muestra la infraestructura de un buen estanque para cultivo.

Figura 3

Estanque para cultivo de tilapia.

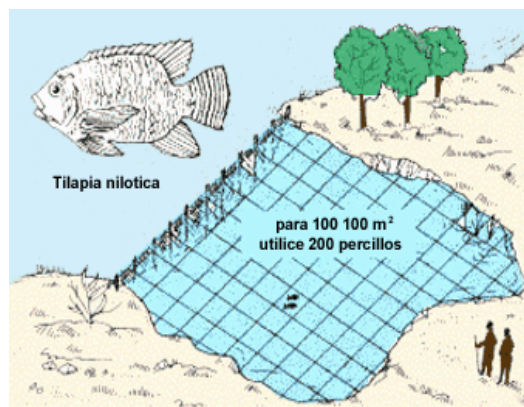


Fuente: La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

No obstante, este también se puede criar en corrales o jaulas (Figura 4)

Figura 4

Corrales para tilapia.



Fuente: La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Disponible

1.4.2.1.3. Pellets de alimentación para tilapia. La elaboración de pellets mediante pelletizado consiste en un proceso donde los restos orgánicos son convertidos en porciones de material que resultan más apetecibles y digeribles por los animales.

Como se observa en la Tabla 4, la materia prima necesaria incluye todos los nutrientes aminoácidos y vitaminas necesarias para una alimentación balanceada de la tilapia en etapa juvenil.

Tabla 4

Composición y análisis bromatológico de las dietas.

Materia Prima	Dieta Control (g/kg)	Dieta Ensilado (g/kg)
Harina de pescado	240	120
Torta de soya	200	80
Harina de maíz	296.2	360
Harina de arroz	210	136.2
Ensilado	0	250
Carbonato de calcio	6	6
Difosfato de calcio	8	8
Premezcla	5	5
Lisina	15.3	15.3
Metionina	8.1	8.1
Treonina	11.4	11.4
Proteína (%)	31.90	33.30
Carbohidratos (%)	33.49	36.21
Grasa (%)	6.90	8.31
Energía (Kcal/kg)	3989	4159
Calcio (%)	1.30	0.74
Fósforo (%)	1.40	0.51

Fuente: Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Grupo de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Universidad de Antioquia

Los pellets usualmente vienen están empacados en bultos (figura 5) el cual es un ejemplo del pellet ya fabricado.

Figura 5

Pellets para tilapia.



Fuente: Tilapia Market

1.4.2.2. Sistemas de alimentación manuales y automáticos. En piscicultura, alimentar a los peces puede hacerse de forma manual o automática. Cada método tiene lo suyo: el manual requiere más trabajo directo del piscicultor, mientras que el automático facilita las cosas al usar tecnología para dosificar el alimento. A continuación, se explican ambos sistemas para entender mejor cómo funcionan.

1.4.2.2.1. Método de dosificación y dispensación manual. Es una técnica de alimentación utilizada en piscicultura que consiste en la distribución y dispensación de alimento directamente por parte del criador o del personal encargado en la alimentación de los organismos acuáticos, ya sea mediante la dispersión de los alimentos en el agua o por la entrega directa del alimento como se muestra en la figura 6. Esta técnica puede ser utilizada tanto en pequeñas explotaciones acuícolas como en grandes instalaciones de cultivo de peces, y puede ser realizada con diferentes tipos de alimento, como pellets, gránulos, tabletas, entre otros.

Figura 6

Alimentación manual.



Fuente: Agrotendencia

1.4.2.2.2 Método de dosificación y dispensación automática. La dosificación automática de alimentos en el cultivo de peces representa una tecnología avanzada cuyo propósito es optimizar la administración de la cantidad y frecuencia de alimentación en sistemas acuícolas. Al ofrecer un control preciso de estos factores, se logra un manejo eficiente de los recursos, favoreciendo la salud y el crecimiento de los peces, a la vez que se minimiza el impacto ambiental debido a la reducción del desperdicio de alimento.

Figura 7

Sistemas de dosificación de alimentos en acuicultura.



Existen diferentes sistemas de dispensación automática, los cuales se han desarrollado para adaptarse a las necesidades de diferentes especies y tipos de cultivo en acuicultura. Algunos de los sistemas más comunes incluyen:

Sistemas Temporizados: Estos sistemas liberan el alimento en horarios preprogramados, siendo adecuados para especies que requieren alimentación en intervalos regulares. Sin embargo, su eficiencia puede verse comprometida al no ajustarse a las variaciones en el comportamiento alimenticio de los peces durante el día (Ruiz et al., 2021).

Sistemas Basados en Demanda: Estos sistemas utilizan sensores de demanda en los cuales el comportamiento de los peces activa la liberación de alimento. La interacción de los peces con estos dispositivos permite liberar el alimento cuando detectan la demanda, reduciendo el desperdicio de alimento, lo cual es especialmente beneficioso en especies altamente activas (García y Gómez, 2017).

Sistemas de Control Inteligente: Diseñados para ajustarse automáticamente a los parámetros ambientales y a las necesidades nutricionales de los peces, estos sistemas emplean algoritmos de control predictivo y redes neuronales que adaptan la dosis de alimento en tiempo real, basándose en datos de sensores y en patrones de consumo previos. Alonso y Martínez (2020) demuestran en sus estudios que estos sistemas pueden mejorar la eficiencia alimenticia hasta en un 20% comparado con los métodos tradicionales.

1.4.2.3 Control de dispositivos inteligentes.

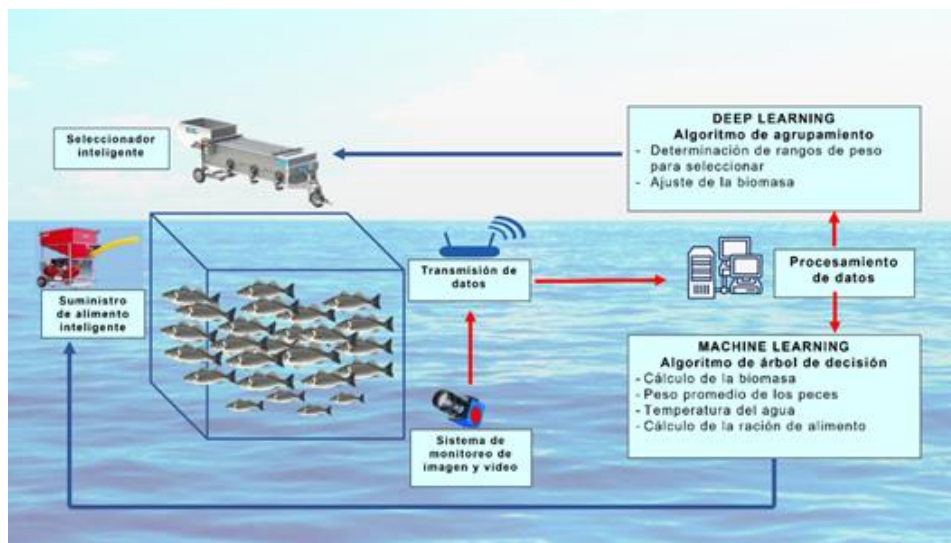
1.4.2.3.1 Métodos de Control y Optimización. Para optimizar la dosificación automática, se emplean métodos de control como el control PID (Proporcional, Integral y Derivativo), que ajusta la liberación de alimento basándose en el error entre la cantidad objetivo y la cantidad real liberada. Este método es efectivo para mantener una dosificación constante, ajustando los errores de manera continua (García & Gómez, 2017).

Sistemas avanzados emplean redes neuronales y algoritmos de aprendizaje automático para predecir las necesidades de alimentación basándose en patrones de comportamiento de los peces.

Esto permite ajustar los parámetros del sistema en tiempo real, adaptándose a variaciones en el consumo de alimento y en las condiciones ambientales (Ramírez et al., 2021).

Figura 8

Aplicación de aprendizaje automático y aprendizaje profundo en la optimización de la cantidad de alimento y selección de peces en acuicultura.



Fuente: Scientia Agropecuaria 2022

La lógica difusa es útil en entornos donde variables como tamaño de los peces, temperatura del agua y nivel de oxígeno presentan valores ambiguos o variables. Este enfoque utiliza reglas difusas para ajustar la dosificación en función de varias condiciones de entrada. Hernández et al. (2020) indican que los sistemas de control difuso son eficaces para ajustar la cantidad de alimento a las necesidades cambiantes de los peces, lo que reduce significativamente el desperdicio.

Al combinar control automático con lógica difusa, el sistema de dosificación se adapta mejor a las condiciones ambientales y al comportamiento de los peces, mejorando el rendimiento y la sostenibilidad del sistema acuícola.

La automatización de la dosificación tiene un impacto positivo en la eficiencia de alimentación. Muñoz y Ortega (2021) destacan que los sistemas automáticos optimizan el consumo de alimento y reducen los residuos en el agua, disminuyendo así la contaminación y el riesgo de eutrofización. Además, la automatización permite minimizar el estrés de los peces al proporcionarles alimento de forma constante.

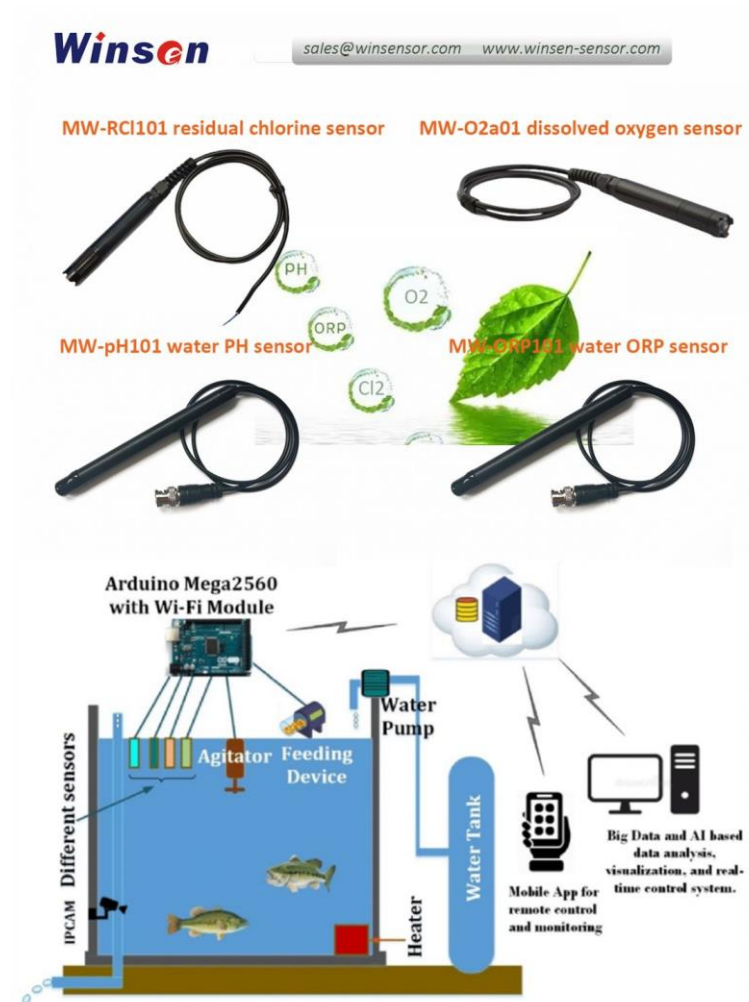
La Universidad de Ciencias Acuícolas (2022) encontró que peces alimentados con sistemas automáticos presentan un índice de conversión alimenticia superior, un crecimiento uniforme y menor mortalidad, lo cual es especialmente relevante en acuicultura intensiva.

1.4.2.3.2 Uso de sensores, actuadores, microcontroladores, sistemas de comunicación y software de control. La dosificación automática en acuicultura se basa en el uso de sensores y actuadores controlados por sistemas de monitoreo, que regulan la cantidad y frecuencia de alimento en función de variables ambientales y del comportamiento de los peces. Los sistemas más avanzados emplean sensores de biomasa y cámaras para analizar el tamaño y comportamiento de los peces, permitiendo ajustar la dosificación de forma autónoma. Según Kose et al. (2018), los sistemas automáticos de alimentación que emplean sensores de temperatura y oxígeno disuelto son capaces de optimizar la conversión alimenticia al adaptar la dosificación según las necesidades de los peces.

Sensores y Actuadores para Control de Dosificación

Figura 9

Sensor de calidad del agua y actuador en sistemas de alimentación en acuicultura.



Fuente: Winsensor

Los sensores y actuadores permiten ajustar la cantidad de alimento y los intervalos de dosificación en tiempo real. Los sensores de biomasa se utilizan para medir el tamaño y la densidad de los peces, ajustando la cantidad de alimento según estos datos. Sensores de temperatura y oxígeno disuelto monitorean el agua, dado que estas variables afectan el metabolismo y consumo de alimento de los peces. En conjunto con los sensores, los actuadores controlan la liberación de alimento, mejorando la precisión de la dosificación y reduciendo el desperdicio (Muñoz & Ortega, 2021).

1.4.3 Marco Conceptual

1.4.3.1 Piscicultura y Alimentación.

Piscicultura

La piscicultura es una actividad orientada al cultivo controlado de peces en ambientes naturales o artificiales, con el objetivo de producir alimento y aprovechar los recursos acuáticos de manera sostenible. Esta práctica busca satisfacer la demanda alimentaria y contribuir a la conservación de especies mediante técnicas que optimicen el crecimiento y calidad de vida de los peces (García & Pérez, 2020).

Dosificación

La dosificación en piscicultura se refiere a la administración de cantidades precisas de alimento en intervalos específicos. Es esencial para asegurar un crecimiento adecuado y reducir el desperdicio de recursos. La precisión en la dosificación permite que cada pez reciba la cantidad exacta de nutrientes, evitando problemas de salud y afectaciones en la calidad del agua (Martínez et al., 2019).

Alimentación Programada

La alimentación programada establece horarios y frecuencias específicas para la administración de alimento, generalmente mediante sistemas automáticos o semiautomáticos. Este enfoque permite simular condiciones naturales de alimentación, promoviendo el crecimiento óptimo de los peces y facilitando el control de su desarrollo (Ortega & Gutiérrez, 2018).

Parámetros Físico-Químicos

En piscicultura, el monitoreo de parámetros físico-químicos, como el pH, temperatura, oxígeno disuelto y amoníaco, es esencial para garantizar un ambiente adecuado. Estas variables afectan directamente el metabolismo y salud de los peces, y su control permite prevenir enfermedades y optimizar el entorno de cultivo (Ruiz, 2020).

Dosificación Controlada

La dosificación controlada utiliza tecnologías para ajustar la cantidad de alimento en función de las necesidades de los peces y las condiciones ambientales. Este método permite un control eficiente de la alimentación, adaptándose a cambios en el comportamiento y crecimiento de los peces, además de reducir costos operativos e impacto ambiental (Fernández & López, 2021).

1.4.3.2. Automatización y Control.

Automatización

La automatización en piscicultura abarca el uso de sistemas automáticos para realizar tareas continuas y precisas, tales como dosificación y monitoreo ambiental. Este proceso reduce la intervención humana y optimiza los recursos, mejorando la eficiencia y precisión en la operación (Jiménez & Ramírez, 2019).

Sistema de Control

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos que regulan el comportamiento de un sistema en función de parámetros establecidos. En la piscicultura automatizada, los sistemas de control gestionan el suministro de alimento y el control de temperatura mediante la retroalimentación constante de sensores y actuadores (Rodríguez & Torres, 2020).

Microcontrolador

Un microcontrolador es un dispositivo que integra procesador, memoria y entradas/salidas en un solo chip, permitiendo el control y monitoreo en tiempo real. En los sistemas de alimentación para piscicultura, los microcontroladores son esenciales para programar y ejecutar secuencias de dosificación y coordinar sensores y actuadores (Gómez et al., 2019).

Actuador

Un actuador convierte señales eléctricas en movimiento o acción mecánica, usado para activar dispositivos como dispensadores de alimento. Los actuadores permiten ejecutar órdenes del sistema de control para realizar tareas específicas, como la liberación controlada de alimento (Pérez & Hernández, 2021).

Sensor

Los sensores detectan y registran variables físicas o químicas (temperatura, oxígeno disuelto), convirtiéndolas en señales eléctricas interpretables. En piscicultura, los sensores permiten monitorear condiciones ambientales y ajustar la dosificación en función del ecosistema acuático (Martínez & López, 2019).

Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario permite a los operadores interactuar con el sistema automatizado, configurando parámetros, monitoreando el funcionamiento y realizando ajustes en tiempo real. Una interfaz accesible facilita la supervisión y control en piscicultura (Ramírez & Suárez, 2020).

1.4.4. Marco legal

1.4.4.1. Legislación Colombiana en Materia de Acuicultura. La acuicultura en Colombia está regulada por diversas leyes y decretos que establecen las directrices para su desarrollo sostenible y responsable. A continuación, se detallan algunos de los principales marcos legales aplicables:

Ley 13 de 1990: Conocida como el Estatuto General de Pesca, esta ley establece las normas generales para la explotación, conservación, investigación y fomento de los recursos pesqueros y acuícolas en el país, definiendo las competencias de las autoridades y los requisitos para el ejercicio de actividades pesqueras y acuícolas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 1990).

Decreto 2256 de 1991: Este decreto reglamenta la Ley 13 de 1990, especificando aspectos como los permisos para ejercer la actividad pesquera y acuícola, las zonas con vocación para la acuicultura y las condiciones para el cultivo de especies nativas y foráneas. El artículo 44 define las zonas con vocación para la acuicultura como aquellas que reúnen condiciones científicas, ecológicas y técnicas para el cultivo de especies acuáticas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 1991).

Decreto 4181 de 2011: Crea la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), entidad encargada de la administración y manejo de los recursos pesqueros y acuícolas, incluyendo la expedición de permisos y licencias, así como la vigilancia y control de las actividades relacionadas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011).

Resolución 2287 de 2015: Emitida por la AUNAP, esta resolución establece las especies de peces que pueden ser objeto de cultivo en Colombia, considerando aspectos de bioseguridad, salud pública y sanidad ambiental (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP], 2015).

Ley 2268 de 2022: Esta ley expide normas para garantizar beneficios sociales focalizados a los pescadores artesanales comerciales y de subsistencia, promoviendo la defensa del medio ambiente sin afectar la seguridad alimentaria y nutricional de estos actores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

1.4.4.2 Normativas de Calidad y Seguridad para Equipos en Piscicultura

Aunque no existen normas técnicas específicas para equipos de alimentación en piscicultura en Colombia, es fundamental que los equipos cumplan con estándares de calidad y seguridad aplicables a dispositivos electromecánicos y electrónicos. A continuación, se presentan algunas normativas relevantes

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) establece las Normas Técnicas Colombianas (NTC), las cuales, aunque no están dirigidas exclusivamente a la piscicultura, son aplicables a los equipos eléctricos y electrónicos en términos de seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética y elección de materiales adecuados para su uso en ambientes húmedos (ICONTEC, 2020). En el diseño del dispensador automático de alimento, la aplicación de las NTC implica la selección de materiales resistentes a la corrosión para la carcasa y otros componentes expuestos a la humedad. Además, se emplea un aislamiento adecuado de los componentes eléctricos, protegiendo así tanto al equipo como al operador de posibles cortocircuitos.

La integración de estos estándares demuestra el compromiso del proyecto con la seguridad y la calidad, garantizando que el dispensador automático de alimento diseñado sea adecuado para su uso en piscicultura, cumpliendo con las normativas aplicables en Colombia y promoviendo un funcionamiento seguro y eficiente tanto para los peces como para los operadores.

1.5. Metodología

1.5.1 Tipo de investigación.

Este proyecto se caracteriza como una investigación de diseño con control de variables. A través de conocimientos en tecnología e ingeniería, se busca desarrollar un sistema mecatrónico innovador que optimice el proceso de alimentación en cultivos de peces. La investigación está orientada a la creación de un dispensador automático de alimento, cuya funcionalidad se evalúa bajo condiciones experimentales controladas.

El enfoque de investigación es mixto. La dimensión cuantitativa se refleja en la recopilación y análisis de datos técnicos, como las revoluciones del motor, la capacidad de la tolva y la precisión

de dosificación, permitiendo determinar el rendimiento del dispensador. Por otro lado, el enfoque cualitativo se basa en la evaluación de las características del sistema, su usabilidad y la percepción del usuario. Este enfoque mixto proporciona una comprensión integral de la efectividad y aplicabilidad del dispositivo en el contexto piscícola.

1.5.2. Línea y sub-línea del grupo de investigación.

El proyecto se enmarca en la línea de Innovación, Optimización y Desarrollo Tecnológico del grupo de investigación, con una sub-línea específica de Innovación Tecnológica en el Campo de la Piscicultura. El desarrollo de este dispensador automático representa una solución avanzada en la automatización de procesos acuícolas, mejorando la eficiencia de la alimentación en los cultivos de peces. Este dispositivo también contribuye a la Optimización de Procesos Productivos Acuícolas, dado que reduce el desperdicio de alimento y mejora la precisión en la dosificación, incrementando así la sostenibilidad y productividad en el sector piscícola.

1.5.3. Hipótesis de la Investigación.

La hipótesis principal de esta investigación es que la implementación de un dispensador autónomo de pellets en cultivos de tilapia roja permitirá optimizar la distribución de alimento, asegurando una dosificación precisa y uniforme. Se espera que este sistema reduzca el desperdicio de insumos y mejore la eficiencia del proceso de alimentación en comparación con métodos manuales, incluso bajo condiciones controladas de experimentación.

Para validar esta hipótesis, se han identificado las siguientes variables:

Variables Controladas: frecuencia de dosificación, cantidad de alimento dispensado, la temperatura en el entorno de prueba.

Variables Dependientes: eficiencia en la distribución de alimento, consumo energético, precisión en la dosificación y percepción de los operadores respecto a la facilidad de uso y mantenimiento del dispositivo.

1.5.4 Descripción metodológica.

La metodología de este proyecto se organiza en tres fases: identificación de requerimientos técnicos, diseño e integración del prototipo, y pruebas experimentales y validación. Este enfoque garantiza que el proceso de desarrollo del dispensador automático de alimento para piscicultura se

lleve a cabo de manera sistemática, asegurando que se cumplan los objetivos técnicos, de eficiencia y de funcionalidad del proyecto.

Inicialmente se plantea una estructura (tabla 5) donde se describe la metodología propuesta para el desarrollo de un prototipo inteligente de dispensador de pellets que permita una dosificación precisa y controlada en la alimentación de tilapia roja en el Municipio de Cumbal, Nariño.

Tabla 5.

Matriz metodológica

Objetivo	Fase	Actividades	Métodos
1. Identificar los requerimientos para el desarrollo de un prototipo dispensador automático de pellets para cultivo de tilapia.	Investigación y análisis de necesidades	1. Revisión de la literatura sobre técnicas de alimentación en piscicultura y condiciones físico-químicas en cultivos de tilapia. 2. Identificación de los tipos de pellets y parámetros de dosificación en relación al crecimiento y salud de los peces.	Revisión bibliográfica de fuentes científicas, análisis comparativo de datos sobre alimentación de peces.
2. Diseñar e integrar componentes de hardware y software para garantizar la correcta alimentación automática.	Diseño e integración del prototipo	1. Diseño del prototipo utilizando Autodesk Inventor 2025 para modelado CAD. 2. Creación del código de programación en Arduino para el sistema de control. 3. Diseño de la interfaz de usuario para configuración y monitoreo de la dosificación 4. Construcción y ensamblaje de los componentes mecánicos y electrónicos. 5. Diseño y configuración del	Uso de Autodesk Inventor 2025 para diseño CAD. Selección de microcontroladores, sensores y actuadores específicos para el sistema de automatización. Creación del código. Construcción y ensamblaje de los componentes.

		<p>sistema electrónico para los sensores, actuadores y microcontrolador.</p> <p>6. Integración del hardware y software, incluyendo pruebas de sincronización y ajustes en el sistema de control.</p> <p>7. Perfeccionamiento del prototipo, asegurando la funcionalidad y precisión de la máquina.</p>	
<p>3. Realizar pruebas experimentales del prototipo para evaluar su funcionamiento y eficiencia.</p>	<p>Pruebas experimentales y validación</p>	<p>1. Realización de pruebas en laboratorio que simulen las condiciones de una piscifactoría.</p> <p>2. Medición de la cantidad de alimento dosificado (kg, frecuencia y precisión).</p> <p>3. Evaluación del consumo energético.</p>	<p>Evaluación experimental en laboratorio, uso de instrumentos de medición (balanza de precisión, cronómetros, medidores de energía).</p> <p>Comparación de resultados con estándares.</p>
<p>4. Analizar los resultados y realizar ajustes finales para optimizar el prototipo.</p>	<p>Análisis de resultados y documentación</p>	<p>1. Análisis de datos obtenidos durante las pruebas para evaluar el rendimiento.</p> <p>2. Ajustes en diseño o programación según los resultados experimentales.</p> <p>3. Documentación final del proceso, incluyendo diagramas, manuales y conclusiones.</p>	<p>Herramientas estadísticas para análisis de datos, software de documentación técnica para la creación de manuales y guías de mantenimiento.</p>

1.5.4.1 Descripción por Fases

1.5.4.1.1. Fase 1: Identificación de Requerimientos Técnicos. La primera fase del proyecto consiste en definir los requerimientos técnicos necesarios para el diseño y construcción del dispensador automático. Esta fase es crucial, ya que establece las especificaciones operativas y funcionales que el prototipo deberá cumplir para ser eficaz en un entorno de piscicultura. Las actividades clave en esta fase incluyen:

Revisión Bibliográfica y Análisis de Necesidades: Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura científica relacionada con la alimentación de peces en piscicultura, específicamente para el cultivo de tilapia. Se estudian aspectos como las técnicas de dosificación, los tipos de pellets, y las condiciones óptimas de alimentación en términos de frecuencia y cantidad de alimento.

Definición de Parámetros Operativos: Con base en la información recolectada, se definen los parámetros técnicos del dispositivo, tales como la capacidad de dosificación, la precisión requerida en la entrega del alimento, la resistencia a ambientes húmedos y la frecuencia de dosificación. Estos parámetros técnicos guían el diseño del prototipo y aseguran que se adapte al entorno real de piscicultura.

Documentación de Especificaciones Técnicas: Se elabora un documento detallado con los requerimientos técnicos y operativos, el cual servirá como referencia para las fases de diseño e integración. Esta especificación incluye los requisitos mecánicos, electrónicos y de control, asegurando que todos los aspectos críticos se tomen en cuenta en las siguientes etapas.

1.5.4.1.2 Fase 2: Diseño e Integración del Prototipo. Esta fase se centra en la creación de un prototipo funcional que cumpla con los requerimientos establecidos en la fase anterior. El diseño y la integración se realizan mediante herramientas de modelado y técnicas de ensamblaje que aseguran la precisión y durabilidad del dispositivo. Las actividades en esta fase incluyen:

Diseño CAD del Prototipo: Utilizando Autodesk Inventor 2025, se desarrolla un modelo en CAD del dispensador, detallando cada componente, desde la tolva hasta el sistema de dosificación y los elementos de control. Este diseño permite visualizar el prototipo, identificar posibles problemas en la estructura y optimizar el diseño antes de su construcción física.

Creación del Código de Control (Arduino): Se programa el sistema de control en el entorno Arduino IDE, integrando instrucciones para sensores y actuadores que regulan la dosificación. El

código asegura que el dispensador opere automáticamente, permitiendo la dosificación en intervalos definidos y ajustables por el usuario.

Diseño de la Interfaz de Usuario: Se desarrolla una interfaz amigable para el operador, permitiendo la configuración de parámetros como la cantidad de alimento y la frecuencia de dosificación. Esta interfaz facilita la interacción con el sistema y permite monitorear el estado del dispositivo durante su operación.

Construcción y Ensamblaje de Componentes: Se ensamblan todos los componentes mecánicos y electrónicos, como el motor, el tornillo sin fin, los sensores y el microcontrolador, siguiendo las especificaciones del diseño CAD. Durante el ensamblaje, se aseguran las conexiones, el aislamiento de los componentes y la robustez de la estructura para operar en ambientes húmedos.

Pruebas de Integración y Ajustes: Una vez ensamblado el prototipo, se realizan pruebas de integración para asegurar que todos los sistemas funcionan de manera sincronizada. Estas pruebas permiten detectar y corregir posibles problemas de desincronización entre el software y el hardware, y realizar ajustes necesarios en el código o en la configuración de los componentes.

Perfeccionamiento del Prototipo: Con los resultados de las pruebas de integración, se hacen ajustes finales en el diseño y la programación para asegurar que el dispensador funcione de manera óptima y precisa. Este perfeccionamiento incluye calibraciones en la dosificación y revisiones en la estructura mecánica para asegurar la fiabilidad del sistema.

1.5.4.1.3 Fase 3: Pruebas Experimentales y Validación. La última fase es fundamental para validar el desempeño del prototipo en condiciones controladas que simulen el entorno de una piscifactoría. En esta fase, se realizan pruebas exhaustivas para verificar la precisión, eficiencia y resistencia del dispositivo. Las actividades de esta fase incluyen:

Pruebas de Precisión en la Dosificación: Se realizan mediciones de la cantidad de alimento dispensado en cada ciclo, utilizando una balanza de precisión. Estas pruebas permiten evaluar si el dispensador cumple con los parámetros de dosificación definidos y si proporciona una cantidad uniforme de alimento en cada sesión.

Evaluación de la Frecuencia y Consistencia: Mediante un cronómetro, se monitorea la frecuencia de los ciclos de dosificación para asegurar que se mantengan constantes y sin interrupciones. Esto permite confirmar que el sistema opera en intervalos regulares, como se programó.

Pruebas de Consumo Energético: Se utilizan medidores de energía para analizar el consumo eléctrico del dispensador en cada ciclo de dosificación. Estos datos ayudan a evaluar la eficiencia energética del prototipo, un factor importante para su viabilidad en el uso a largo plazo en pisciculturas.

Documentación y Análisis de Resultados: Los datos obtenidos de las pruebas se analizan y comparan con los estándares de desempeño definidos. Se documentan los resultados, y cualquier ajuste o mejora identificado se implementa para optimizar el prototipo. Este análisis permite determinar si el dispensador cumple con los requisitos de precisión, eficiencia y durabilidad.

Validación Final y Preparación de la Documentación: Se elabora una documentación completa del proceso. Esta documentación garantiza que el dispositivo esté listo para su implementación y proporciona una base para futuras optimizaciones.

1.5.5. Validez de la investigación

1.5.5.1. Validez Interna. La validez interna de esta investigación se asegura mediante un control riguroso de las variables experimentales en un entorno controlado. Todas las pruebas realizadas al dispensador automático de alimento para peces se llevan a cabo en un laboratorio que simula las condiciones ambientales de una piscicultura, minimizando el impacto de factores externos no controlados. Para este fin, se supervisan constantemente variables críticas, como la cantidad de alimento dispensado, el consumo energético y la resistencia a la humedad.

La implementación de instrumentos de medición precisos, tales como balanzas de precisión, cronómetros y medidores de energía, garantiza que los datos recolectados sean confiables y reflejen de manera objetiva el desempeño real del prototipo. Además, al utilizar un diseño experimental con control de variables, se asegura que cualquier variación en los resultados se deba exclusivamente a los ajustes realizados en el dispositivo, lo cual refuerza la validez interna del estudio.

1.5.5.2. Validez Externa. La validez externa de esta investigación se refiere a la aplicabilidad de los resultados obtenidos en condiciones experimentales a un entorno real de piscicultura. Con el fin de asegurar que el dispensador automático funcione de manera efectiva en un ambiente acuícola, las pruebas han sido diseñadas para replicar las condiciones de una piscifactoría, incluyendo niveles elevados de humedad y temperaturas variables.

Asimismo, la replicabilidad de los resultados se considera un aspecto esencial para la validez externa. Las pruebas realizadas, enfocadas en evaluar la precisión de dosificación, eficiencia energética y durabilidad del prototipo, permiten extrapolar el rendimiento del dispensador a diversos contextos piscícolas. La documentación completa del proceso (manuales de usuario y guías de mantenimiento) garantiza que el dispositivo pueda implementarse en diferentes pisciculturas, manteniendo un rendimiento consistente y validado, lo cual confirma la aplicabilidad de los resultados en un entorno real.

1.5.5.3. Instrumentos de Evaluación. Para evaluar de manera precisa el desempeño del dispensador automático de alimento, se utilizan varios instrumentos de medición, cada uno con una función específica dentro de la evaluación experimental. Estos instrumentos permiten recolectar datos cuantitativos y cualitativos sobre el rendimiento del prototipo y son fundamentales para asegurar una evaluación integral del dispositivo.

Balanza de Precisión: Este instrumento permite medir la cantidad exacta de alimento dispensado en cada ciclo, asegurando que el sistema cumpla con los parámetros de dosificación establecidos y evitando el desperdicio de alimento.

Medidores de Energía: Estos dispositivos registran el consumo energético del prototipo en cada ciclo, proporcionando información clave sobre la eficiencia del sistema y su viabilidad en operaciones de largo plazo.

Cámara de Video: Registra en tiempo real el funcionamiento del prototipo durante las pruebas experimentales, facilitando la documentación visual del proceso y permitiendo identificar posibles problemas en la operación.

Software de Análisis de Datos: Herramientas como Excel y software estadístico se emplean para analizar los datos recolectados, realizar cálculos estadísticos, y comparar los resultados obtenidos con los estándares de desempeño definidos.

1.5.5.4 Métricas y Rúbricas para Evaluación de Desempeño. Para evaluar el desempeño del dispensador automático, se han establecido métricas específicas que permiten medir los aspectos clave de su funcionamiento. Estas métricas se complementan con rúbricas de evaluación que definen los criterios de éxito para cada aspecto evaluado, proporcionando un marco de referencia claro para la interpretación de los resultados.

Precisión en la Dosificación

Métrica: Cantidad de alimento dispensado comparada con la cantidad programada.

Rúbrica:

Excelente: 90-100% de precisión en la dosificación.

Bueno: 75-89% de precisión.

Insuficiente: Menos del 75% de precisión.

Eficiencia Energética

Métrica: Consumo de energía por ciclo de dosificación.

Rúbrica:

Excelente: Consumo energético menor al 85% del valor estándar.

Bueno: Consumo entre el 86-100% del valor estándar.

Insuficiente: Consumo superior al 100% del valor estándar.

Consistencia en la Frecuencia de Alimentación

Métrica: Tiempo entre ciclos de dosificación comparado con el tiempo programado.

Rúbrica:

Excelente: 90-100% de consistencia temporal.

Bueno: 75-89% de consistencia.

Insuficiente: Menos del 75% de consistencia.

2. Presentación de resultados

2.1 Resultados del objetivo 1: requerimientos técnicos

2.1.1. Parámetros nutricionales y físicos para la tilapia

En la fase inicial del proyecto, se llevó a cabo una investigación detallada sobre los temas más pertinentes para el estudio. Además de revisar algunos prototipos, se recopiló la información más relevante y útil. El primer paso fue investigar las necesidades específicas de la tilapia, incluyendo su alimentación y condiciones físico-químicas. Se enfocó en aquellas que contribuirían a la mejora del proyecto, y de este análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

Control de temperatura: Se identificó que la temperatura óptima para el consumo de alimento de la tilapia roja es entre 20°C y 30°C. A temperaturas menores a 20°C, el pez reduce considerablemente su ingesta. Estos datos fueron esenciales para programar el dispensador, evitando el desperdicio de alimento en situaciones donde los peces no están comiendo.

Etapas de crecimiento y tamaño de pellets: El análisis mostró que los peces en fase juvenil requieren pellets de tamaños que varían entre 3.5 mm y 4.5 mm, dependiendo de su peso. Esta información fue incorporada al diseño del tornillo helicoidal, asegurando la dosificación precisa de alimento de acuerdo con el tamaño de los pellets.

Después de llevar a cabo esta acción, se procedió con la ejecución del plan de la dieta, y la opción que mostró una mejor adaptación fue la dieta sugerida por la marca Solla. A la cual se le realizó ciertos ajustes conforme a la cantidad de peces y las semanas en las que se plantea realizar el estudio, dichos cambios son el resultado de variar los datos de la tabla suministrada por Solla S.A en la cual variando la cantidad de peces arroja la cantidad de alimento a dar por semana y por día en este caso en la tabla 6 se muestra cómo se realiza, con una población de 100 tilapias, esta tabla es de gran importancia para generar el algoritmo de programación pues de dicha tabla se sacan unas constantes las cuales son vitales para conocer la cantidad de alimento a dar, dichas constantes son el resultado de multiplicar la columna de incremento alimento por peso tilapia de la tabla de cada semana. Y al multiplicar esa constante de cada semana por la población del cultivo se obtienen los gramos diarios a suministrar al cultivo (ecuación 1).

Ecuación 1.

Ecuación dieta.

$$C \text{ semana} = \text{incremento alimento}(\%) * \text{peso tilapia}(\text{gramos})$$

Tabla 6

Dieta para tilapia.

Edad (semana)	Rango Peso (g)	Referencia alimento	Alimento (Kg/día)	Alimento (Kg/semana)
12	80-100	Tilapia 34% 3.5mm	0.30	2.10
13	100-120	Tilapia 34% 3.5mm	0.36	2.52
14	120-140	Tilapia 34% 3.5mm	0.42	2.94
15	140-160	Tilapia 34% 3.5mm	0.43	3.01
16	160-180	Tilapia 30% 4.5mm	0.45	3.15
17	180-200	Tilapia 30% 4.5mm	0.47	3.29
18	200-220	Tilapia 30% 4.5mm	0.48	3.36
19	220-245	Tilapia 30% 4.5mm	0.50	3.50
20	245-270	Tilapia 30% 4.5mm	0.51	3.57

Fuente Solla S.A

2.1.2. Identificación de especificaciones para componentes del prototipo

Para el dispensador, se evaluaron varios materiales mediante la metodología de diseño de Ulrich, considerando criterios como resistencia, peso, costo y resistencia a la corrosión. Los materiales seleccionados fueron el ángulo de acero, la lámina de aluminio y el PLA+, aunque también se consideró el acero inoxidable por sus propiedades superiores en durabilidad y resistencia en ambientes húmedos.

En la Tabla 7, se presenta un análisis comparativo de los materiales utilizados en el proyecto, mientras que en la Tabla 8 se incluye una comparación adicional con el acero inoxidable como material alternativo.

Tabla 7

Comparación de Materiales Utilizados en el Proyecto.

Criterio	Ángulo de Acero	Lámina de Aluminio	PLA+
Resistencia Mecánica	Alta, buena para soportar cargas.	Media, adecuada pero menor que el acero.	Baja, limitada a piezas no estructurales.
Peso	Alto, incrementa el peso total del equipo.	Bajo, más ligero que el acero.	Muy bajo, ideal para componentes livianos.
Costo	Moderado a alto, depende de la calidad.	Moderado, generalmente más económico que el acero.	Bajo, especialmente si se cuenta con impresora 3D.
Resistencia a la Corrosión	Baja, se oxida sin recubrimiento.	Alta, resistente a la corrosión.	Baja, puede degradarse en ambientes húmedos.
Procesabilidad	Requiere soldadura y corte con herramientas específicas.	Fácil de cortar y doblar.	Procesable mediante impresión 3D.
Adecuación para Ambientes Húmedos	Moderada, requiere recubrimiento para evitar oxidación.	Buena, no se corroe fácilmente.	Baja, se degrada en ambientes húmedos.

Tabla 8

Comparación con el Acero Inoxidable como Alternativa

Criterio	Ángulo de Acero	Lámina de Aluminio	PLA+	Acero Inoxidable
Resistencia Mecánica	Alta, buena para soportar cargas.	Media, adecuada pero menor que el acero.	Baja, limitada a piezas no estructurales.	Alta, excelente resistencia estructural.
Peso	Alto, incrementa el peso total del equipo.	Bajo, más ligero que el acero.	Muy bajo, ideal para componentes livianos.	Alto, aunque más ligero que el acero convencional.
Costo	Moderado a alto, depende de la calidad.	Moderado, generalmente más económico que el acero.	Bajo, especialmente si se cuenta con impresora 3D.	Alto, pero justificado por su durabilidad.

Resistencia a la Corrosión	Baja, se oxida sin recubrimiento.	Alta, resistente a la corrosión.	Baja, puede degradarse en ambientes húmedos.	Excelente, resistente a la corrosión sin necesidad de recubrimiento.
Procesabilidad	Requiere soldadura y corte con herramientas específicas.	Fácil de cortar y doblar.	Procesable mediante impresión 3D.	Requiere herramientas de corte y soldadura especializadas.
Adecuación para Ambientes Húmedos	Moderada, requiere recubrimiento para evitar oxidación.	Buena, no se corroe fácilmente.	Baja, se degrada en ambientes húmedos.	Excelente, ideal para ambientes húmedos sin tratamiento adicional.

Este material ofrece alta resistencia a la corrosión y es ideal para ambientes húmedos. Sin embargo, su alto costo supera las capacidades económicas del proyecto, haciendo que su implementación no sea viable en esta fase. Según Ulrich y Eppinger (2012), el acero inoxidable se recomienda en aplicaciones donde la durabilidad justifica su inversión, lo cual no aplica en este caso.

Materiales Seleccionados:

Ángulo de Acero: Escogido para las estructuras principales debido a su resistencia mecánica. Aunque es propenso a la corrosión, se puede proteger con recubrimientos.

Lámina de Aluminio: Ligera y resistente a la corrosión, es ideal para piezas secundarias donde el peso reducido es importante.

PLA+: Usado en componentes no estructurales, permite un prototipado rápido y económico mediante impresión 3D, aunque su resistencia en ambientes húmedos es limitada.

2.2 Resultados del objetivo 2: diseño del prototipo

2.2.1. Diseño mecánico (tolva, tornillo helicoidal, sistema de dosificación)

En el diseño de la tolva con el tornillo sin fin es necesario conocer la densidad del producto, pero no del valor de cada unidad sino de varios, pues se debe calcular su densidad suelta, puesto que hay ciertos vacíos que se generan al momento de reunirlos, esta es igual a la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. Que en este

caso fue en un recipiente de un litro y el peso del agregado fue el que se muestra en la siguiente figura:

Figura 10

Peso del agregado en gramos.



Ecuación 2

Ecuación densidad suelta.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Donde el volumen es igual a 1 litro, lo que es igual a 0.001 m³.

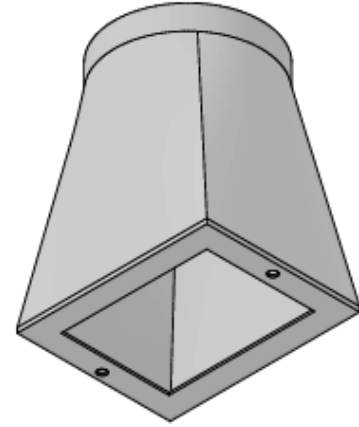
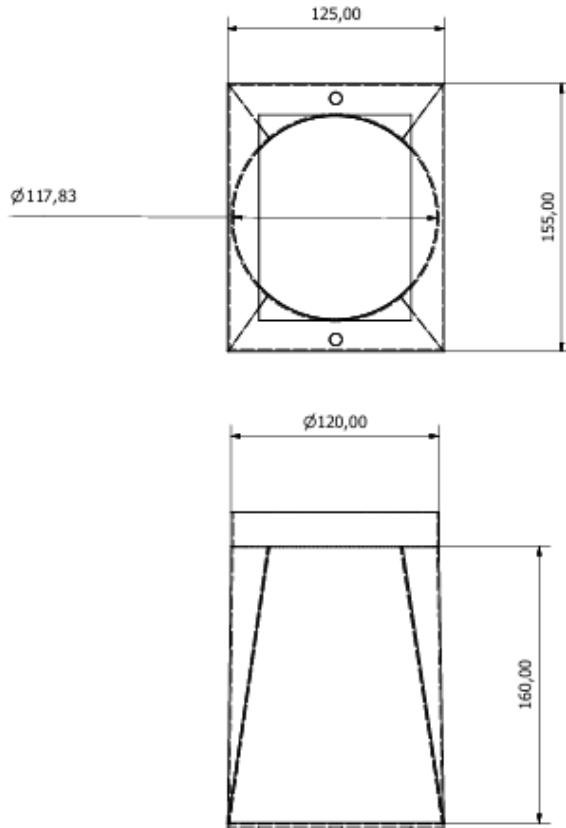
$$\rho = \frac{423 \text{ g}}{0.001 \text{ m}^3} = \frac{423 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

En base a esta densidad se calcula el volumen requerido de la tolva de almacenamiento, teniendo en cuenta que la capacidad máxima de almacenamiento sea 1kg.

Se decidió adaptar una tolva en el diseño del dispensador automático de alimento debido a su viabilidad económica, compatibilidad con el sistema y sostenibilidad. La tolva fue diseñada conforme a las medidas que ya posee, como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Tolva reciclada.



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
RICARDO - ODALYS				7/11/2024
UNIVERSIDAD MARIANA			TOLVA RECICLADA	

Dado:

Altura (h) = 0.16 m

Radio superior (R1R_1R1) = 0.0625 m

Radio inferior (R2R_2R2) = 0.05892 m

Densidad = 423 kg/m³

Ecuación 2

Volumen (V) de la tolva.

$$V = 31\pi \times 0.16 \times ((0.0625)^2 + (0.0625 \times 0.05892) + (0.05892)^2) \approx 0.001908 \text{ m}^3$$

Se decidió adaptar una tolva reciclada en el diseño del dispensador automático de alimento debido a su viabilidad económica, compatibilidad con el sistema y sostenibilidad. Esta tolva ofrece la capacidad adecuada de **1.91 litros** (ecuación 2) con lo que calcularemos la cantidad de alimento que logra almacenar.

Ecuación 3

Cantidad de alimento almacenado

$$Masa = V \times 423 \approx 0.807kg$$

Así se cumple con los requisitos de almacenamiento y dosificación sin requerir una inversión adicional en una pieza personalizada. Además, su forma cónica facilita el flujo del alimento hacia el tornillo sin fin, optimizando la operación y reduciendo el riesgo de atascos, lo cual permite alcanzar los objetivos del proyecto de manera eficiente y accesible.

En la elaboración del diseño del tornillo helicoidal, se consideraron las especificaciones necesarias para lograr una dosificación precisa de alimento. El tornillo helicoidal está diseñado para desplazar 10 gramos de alimento por cada giro completo del motor como se indica en la tabla 9.

Tabla 9

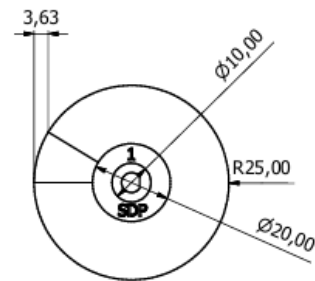
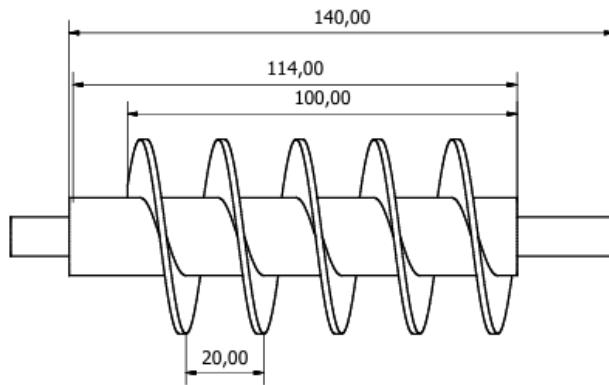
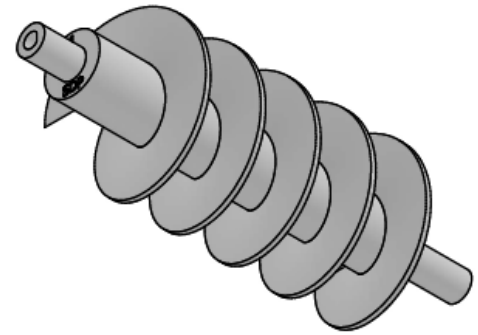
Cálculos de Flujo Másico.

Dos(gr/rev)	rpm	D(mm)	d(mm)	Aneta(mm ²)	Paso(mm)	Vol (mm ³ /rev)	ρ (kg/m ³)	Flujo másico(g/min)
10	1	50	20	1648,33614	20	32986,7229	423	140

se calculó que cada paso desplaza aproximadamente 0.05 gramos de alimento, permitiendo un control preciso en la dosificación. Este diseño asegura que el sistema de alimentación cumpla con los requisitos de flujo másico necesarios para el cultivo de peces. El diseño detallado del tornillo helicoidal se presenta en la figura 12.

Figura 12

tornillo helicoidal.

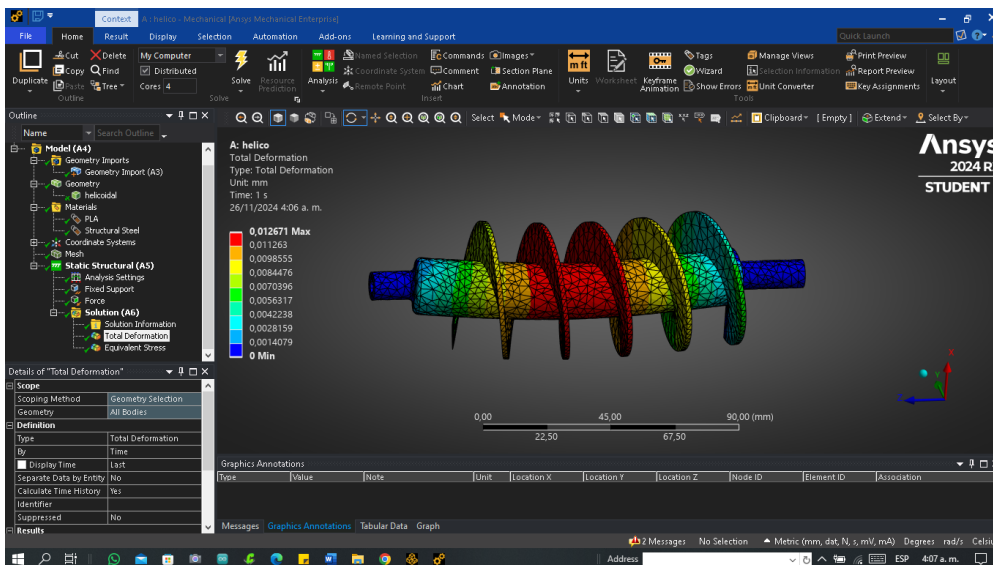


2.2.1.1 Análisis de elementos finitos.

2.2.1.1.1 Análisis tornillo helicoidal. El análisis de elementos finitos permitió evaluar el comportamiento estructural del tornillo helicoidal fabricado en PLA bajo una carga de 3 kg.

Figura 13.

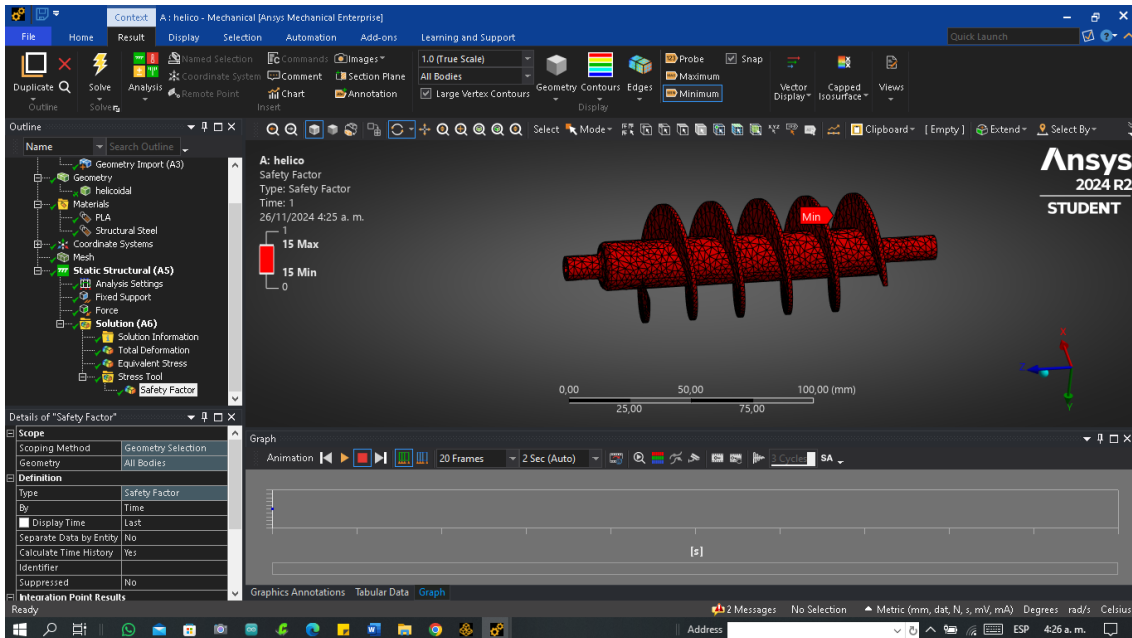
Análisis tornillo helicoidal.



A través de un análisis de elementos finitos se determinó que, al someter el tornillo helicoidal fabricado en PLA a una carga de 3 kg, la deformación máxima alcanzada es de tan solo 0.012671 mm (figura 13). Este nivel de deformación, claramente, no representa un riesgo significativo para la integridad estructural del componente. Ahora bien, si se quisiera mejorar aún más su comportamiento estructural, se podría considerar la incorporación de un eje o alma metálica. Sin embargo, con base en los resultados obtenidos, no se considera estrictamente necesario implementar este tipo de refuerzo en las condiciones actuales.

Figura 14.

Tornillo Helicoidal factor de seguridad.

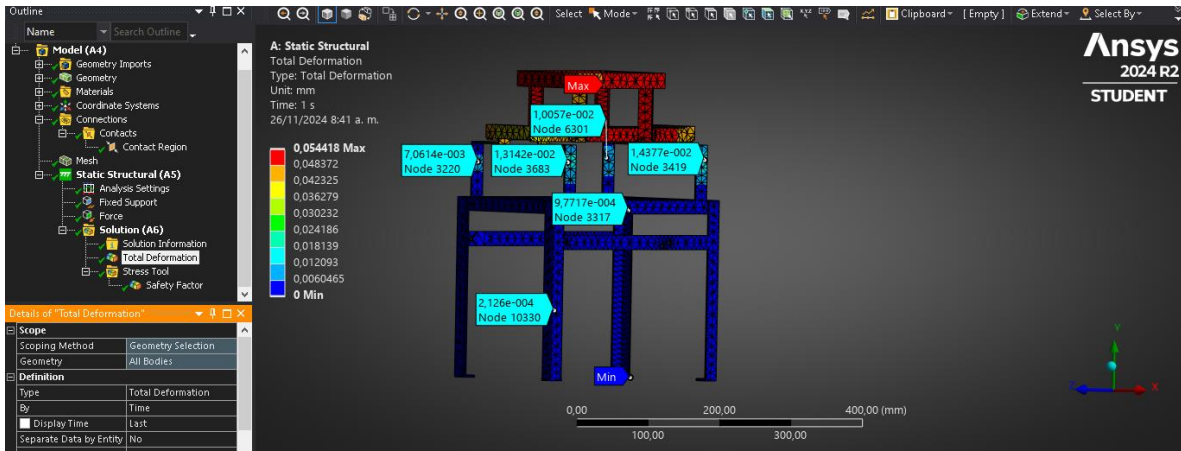


También se obtiene que el factor de seguridad de el tonillo helicoidal es de 15 según cálculo de von-mises realizado por ansys. Como se muestra en la figura 14.

2.2.1.1.2 Análisis chasis. Se llevó a cabo un análisis de deformaciones en el componente, obteniéndose una deformación máxima de 0.054419 mm. Este nivel de deformación es considerado insignificante, ya que no compromete la funcionalidad ni la integridad estructural de la pieza bajo las condiciones evaluadas.

Figura 15

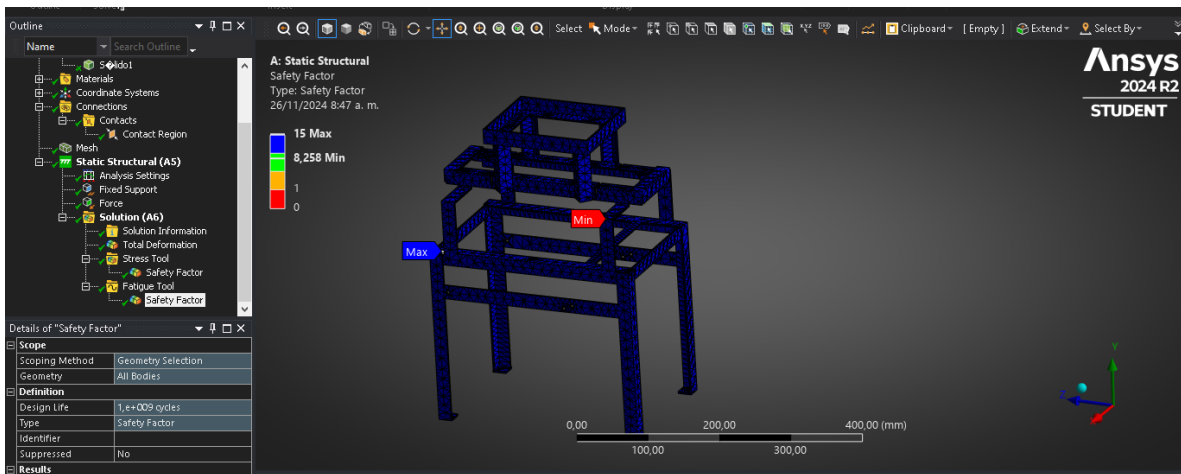
Análisis chasis.



Adicionalmente, el factor de seguridad calculado según el criterio de Von Mises es de 15, lo que indica que el componente tiene una capacidad considerable para soportar cargas mucho mayores sin riesgo de falla. Estos resultados demuestran que el diseño es robusto y seguro para su aplicación prevista.

Figura 16

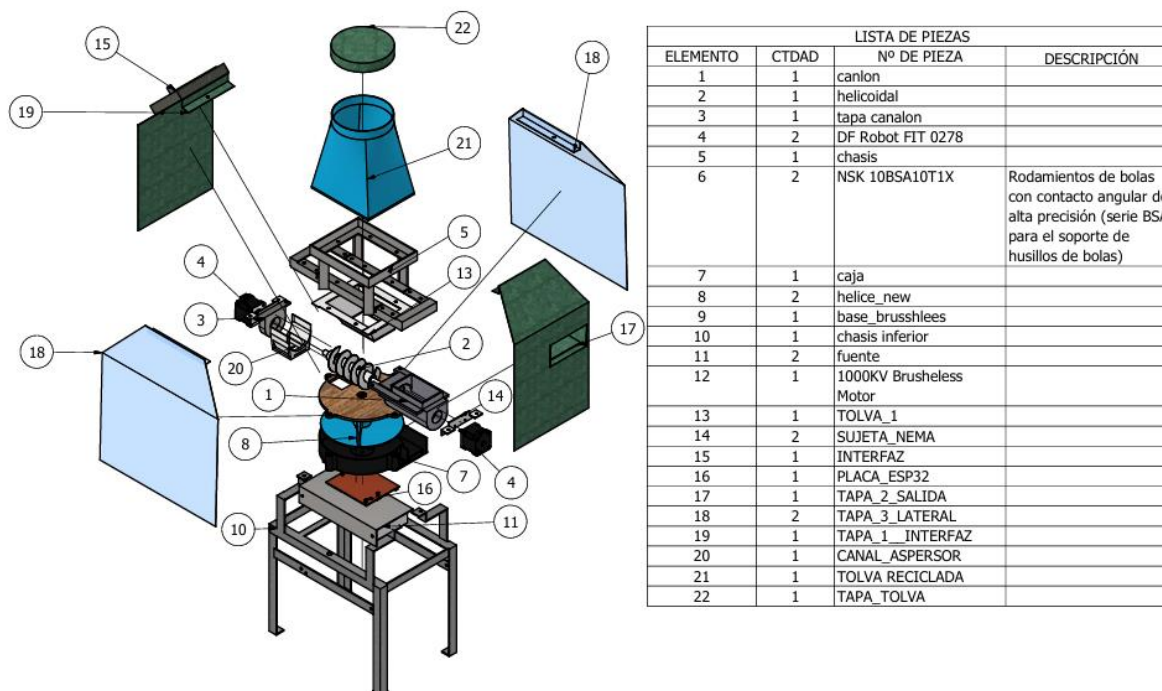
Análisis chasis factor de seguridad



Después de llevar a cabo los cálculos para cada uno de los elementos mencionados anteriormente, se continúa con Diseño y ensamble de piezas en software CAD. Como se muestra en la siguiente figura 17.

Figura 17

Simulación en inventor.



El prototipo como se muestra en la figura 17 cuenta dos bases en las cuales están ubicados diferentes mecanismos, en la base inferior está ubicado el aspersor el cual consta de dos aspas impulsadas por un motor que gira a altas revoluciones, la base superior la cual descansa en la base inferior tiene toda la parte de dosificación y almacenamiento de los pellets.

La tolva es el componente principal donde se almacena el alimento antes de ser dispensado. Está diseñada con una forma cónica o piramidal para facilitar el flujo gravitacional del alimento hacia la salida inferior, minimizando la posibilidad de obstrucciones.

Debajo de la tolva, el alimento cae en un canalón que contiene un tornillo helicoidal, también conocido como tornillo sin fin. Este tornillo está montado longitudinalmente dentro del canalón y gira impulsado por un motor eléctrico. La rotación del tornillo helicoidal transporta el alimento a lo largo del canalón hacia su extremo de salida. Esta configuración permite un control preciso sobre la cantidad de alimento que se dispensa, siendo ajustable mediante la velocidad de rotación del motor que acciona el tornillo.

En el extremo de salida del canalón, el alimento es recogido por una hélice dispersora. Esta hélice está diseñada para lanzar el alimento de manera uniforme sobre un área amplia, asegurando que los peces tengan acceso equitativo al alimento y evitando la sobrealimentación en puntos específicos que podría llevar a problemas de salud animal y de calidad del agua. El diseño de la

hélice y su velocidad de rotación son críticos para alcanzar una dispersión efectiva y pueden ser ajustados según la densidad y tamaño del alimento, así como el área de cobertura deseada.

2.2.2. Diseño electrónico

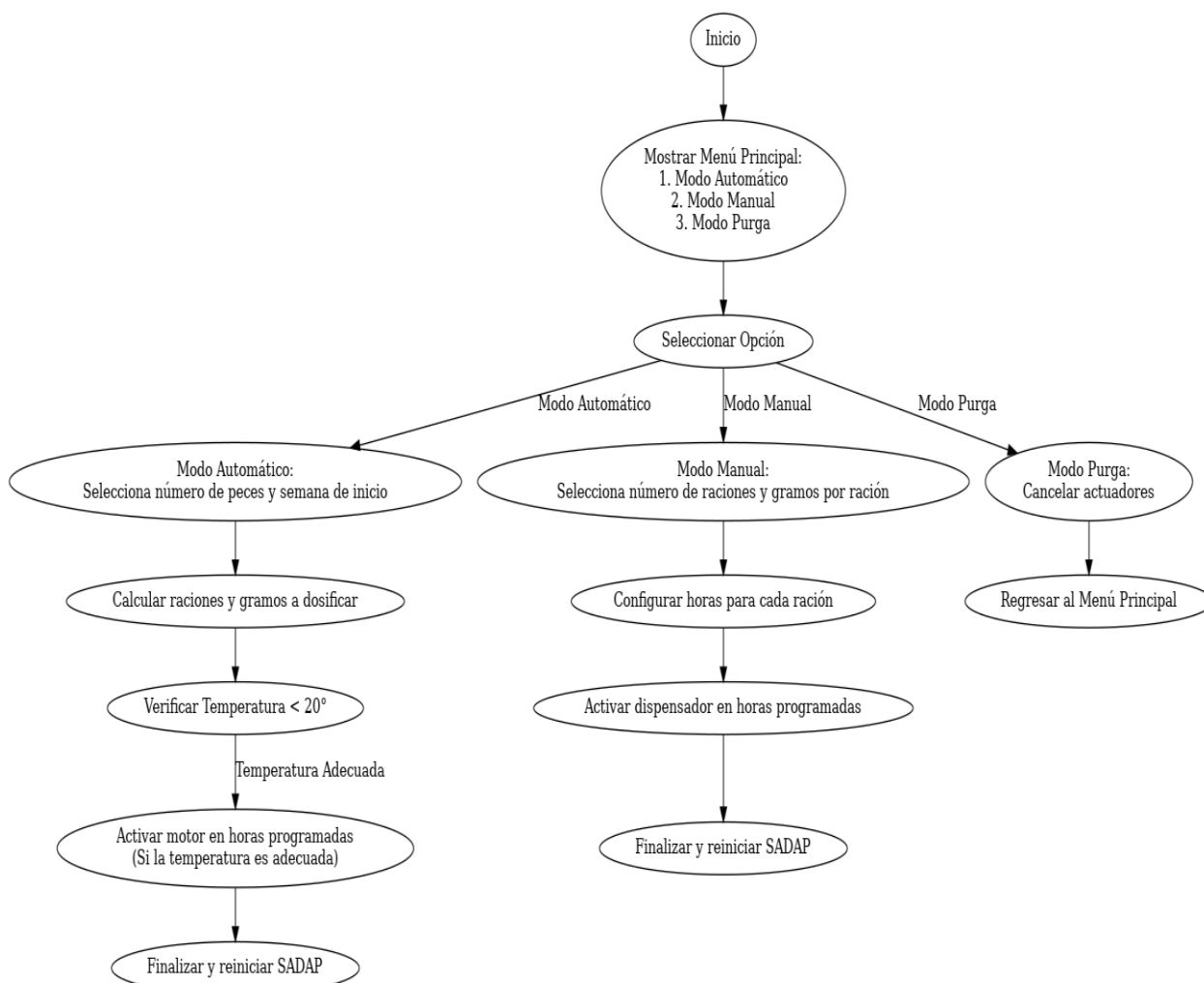
Se basa en una placa de desarrollo ESP32, que controla todos los componentes necesarios para la dosificación automatizada y la interacción con el usuario. Este diseño garantiza precisión en la dosificación y proporciona una interfaz intuitiva para un control eficiente del sistema.

Para la interfaz de usuario, se utiliza una pantalla LCD 20x4 que muestra información sobre el estado del sistema, la cantidad de alimento a dispensar y el tiempo restante entre dosificaciones. La pantalla está equipada con un módulo PCF8574 con comunicación I2C, lo cual facilita la conexión con la ESP32 al reducir el número de pines requeridos.

El encoder rotativo KY-040 permite la navegación en el menú y la configuración de parámetros. Con este componente, el usuario puede desplazarse por las opciones y ajustar valores específicos, como la cantidad de alimento y la frecuencia de dosificación. La estructura del menú del sistema se presenta en el diagrama del menú de usuario en la figura 18.

Figura 18

Diagrama del menú de usuario.



Para asegurar el funcionamiento en intervalos programados, se utiliza un módulo de reloj de tiempo real (RTC) DS3231, que permite al sistema mantener la hora con alta precisión, incluso en caso de reinicio o pérdida de energía. Este módulo es fundamental para que el dispensador funcione en los horarios programados, brindando precisión en la administración de la alimentación.

La placa de control, que incluye la ESP32, es el núcleo del sistema y se encarga de coordinar tanto la interfaz de usuario como los actuadores. La ESP32 actúa como microcontrolador principal, procesando las entradas del usuario, controlando los motores y gestionando la comunicación entre los diferentes módulos. Su capacidad de procesamiento y conectividad la convierten en una elección adecuada para este proyecto.

Para el movimiento y control del tornillo helicoidal, que realiza la dosificación de alimento, se utilizan dos motores NEMA 17 controlados por drivers A4988. Estos drivers permiten ajustar la velocidad y el torque de los motores, asegurando una dosificación precisa y repetitiva. La

combinación de estos motores y drivers permite un control exacto en cada revolución, lo cual es crucial para la dosificación.

Además, el sistema incluye un motor brushless A2212 1000KV 13T, controlado por un ESC de 30A, que se utiliza en operaciones que requieren mayor velocidad o torque. El ESC permite un control suave y preciso del motor, lo que es esencial para aplicaciones de alto rendimiento continuo.

Para almacenar los parámetros de configuración y registros operativos, se incorpora un módulo de memoria SD. Este módulo permite que el sistema guarde los datos necesarios para retomar su funcionamiento en caso de reinicio, facilitando la función de "Retomar Cultivo" y asegurando que no sea necesario reconfigurar manualmente el sistema después de un apagado.

La fuente de alimentación de 12V y 10A garantiza un suministro de energía estable para todos los componentes, incluyendo la ESP32, los motores y el motor brushless. Esta fuente de alimentación asegura que el dispensador funcione de manera continua sin interrupciones.

2.2.3. Descripción del Código

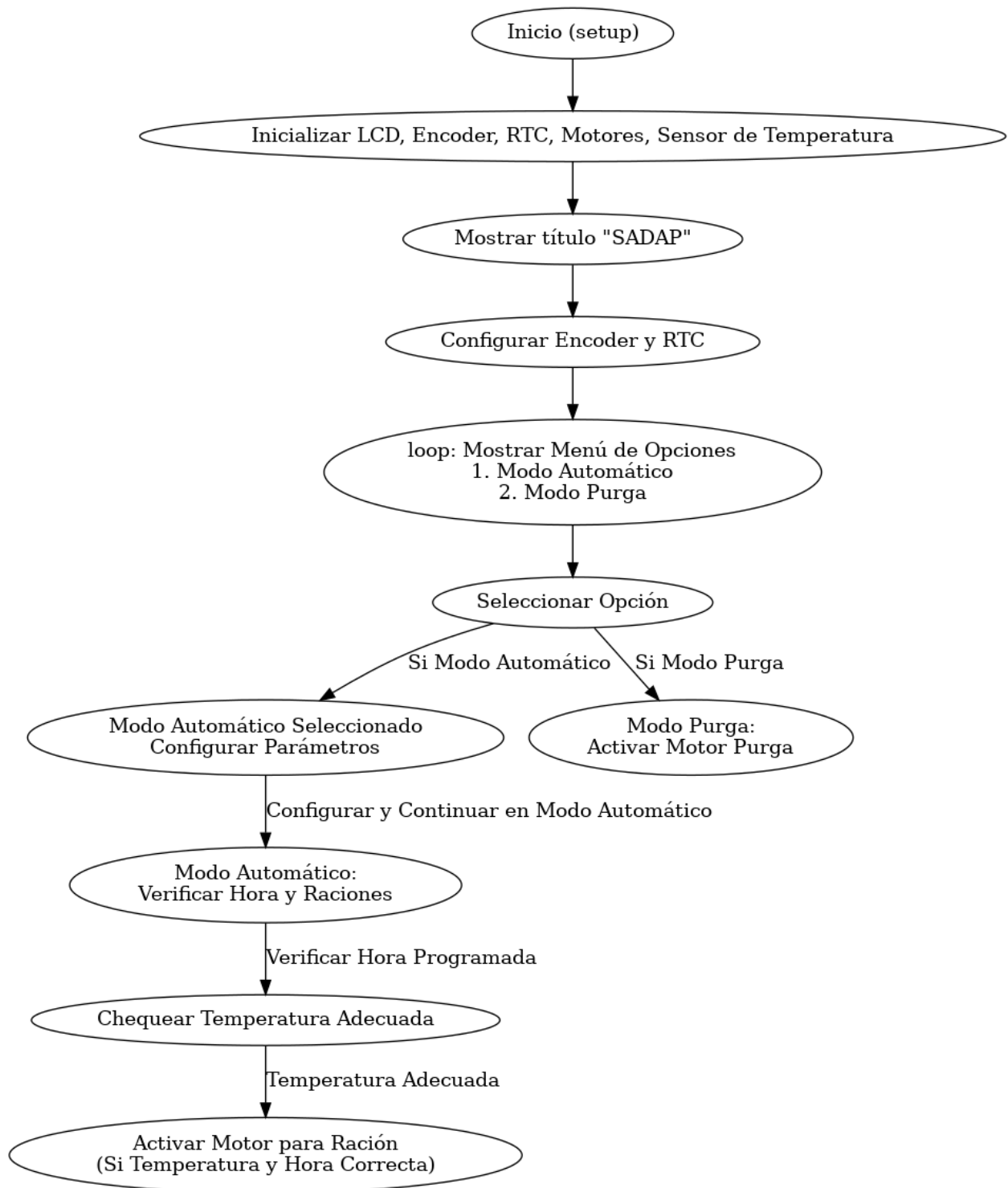
El código desarrollado para el dispensador automático de alimento permite controlar los diferentes componentes del sistema y gestionar la interacción con el usuario. La lógica principal se estructura en torno al manejo de la placa ESP32, que coordina la comunicación entre la pantalla LCD, el encoder rotativo y el reloj de tiempo real (RTC). A través de la interfaz de usuario, el operador puede configurar parámetros como la cantidad de alimento a dispensar y los intervalos de dosificación.

El código integra rutinas para controlar los motores paso a paso NEMA 17 mediante drivers A4988, asegurando una dosificación precisa en cada ciclo de operación. Adicionalmente, se incluye el control del motor brushless A2212 mediante un ESC, proporcionando la flexibilidad necesaria para operaciones que requieren mayor velocidad o torque.

Para la funcionalidad de "Retomar Cultivo," el código guarda configuraciones y datos de operación en una tarjeta SD, lo que permite que el sistema continúe desde su último estado en caso de reinicio. Esta estructura de programación asegura que el dispensador funcione de manera autónoma y confiable, ajustándose a las necesidades del cultivo y permitiendo una administración efectiva del alimento, como se muestra en la figura 19.

Figura 19

diagrama de flujo código.



2.2.4. Integración de hardware y software.

Figura 20

Construcción de prototipo.

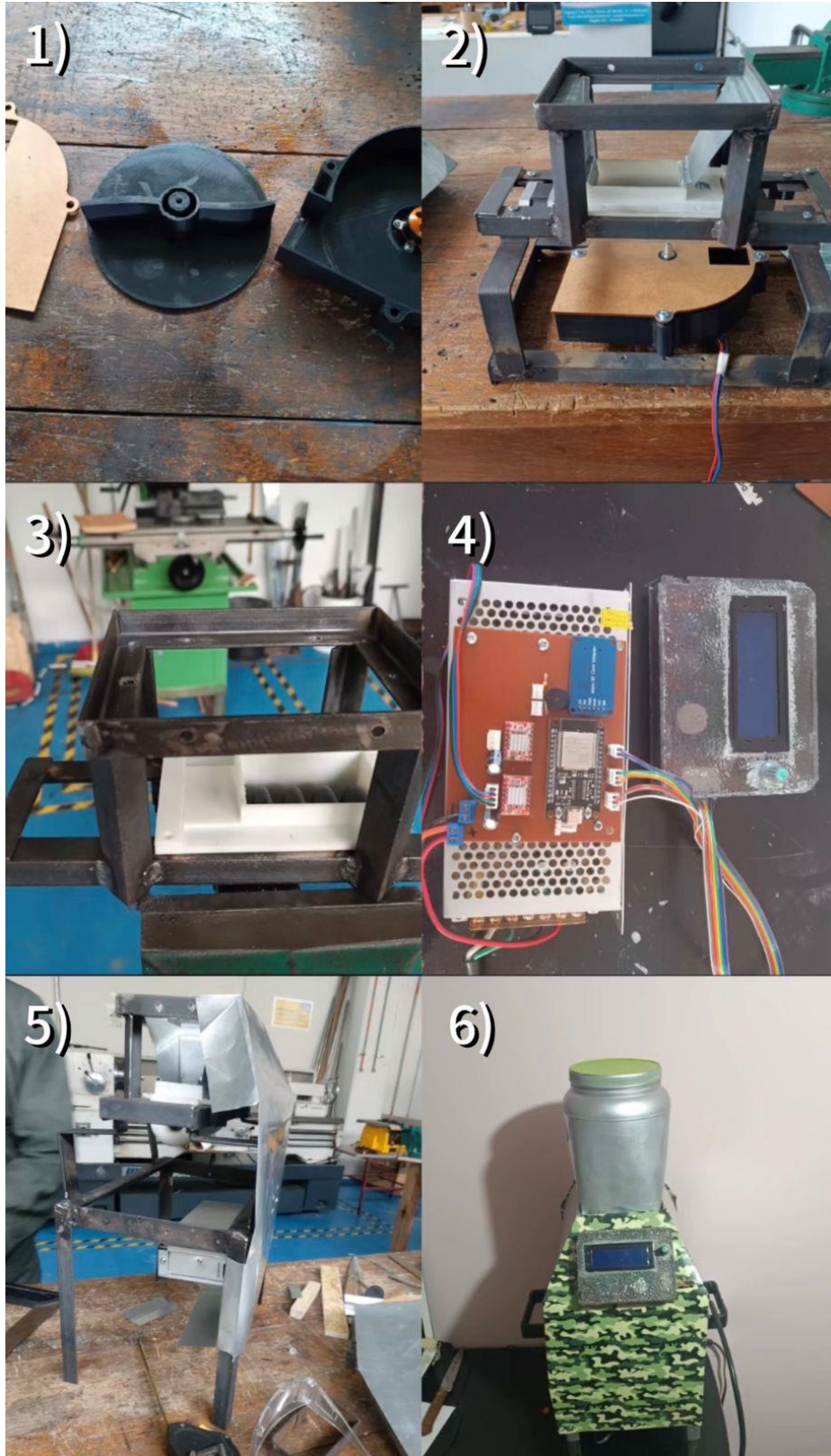


Figura 21

dispensador autónomo de pellets para cultivo de tilapia.



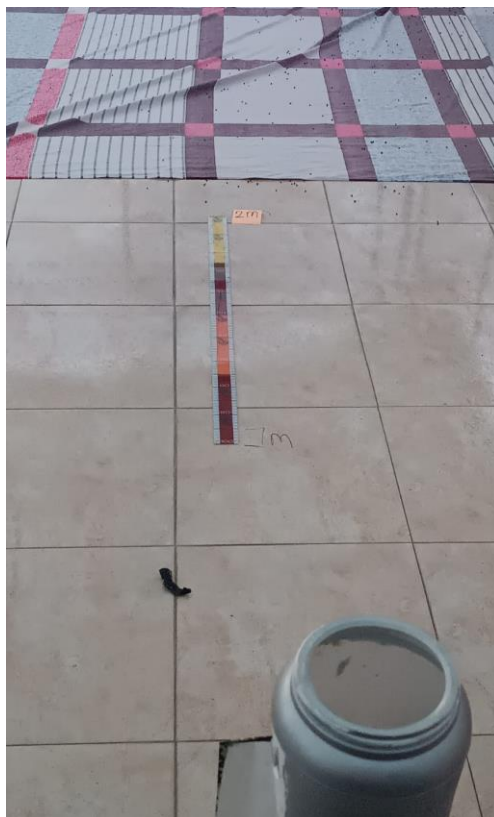
2.3. Resultados del objetivo 3: pruebas experimentales

2.3.1. Medición de la precisión

Se realizaron pruebas de dispersión para evaluar su capacidad de distribución de alimento en un entorno controlado. Los resultados indican que el dispositivo tiene un alcance de dispersión de hasta 2 metros, lo cual permite una cobertura uniforme en el área de cultivo, promoviendo una alimentación equitativa entre los peces y evitando acumulaciones de alimento en un solo punto. Como se muestra en la figura 22, el sistema cumple con los requisitos de dispersión establecidos, validando su funcionalidad en condiciones experimentales.

Figura 22

alcance de dispersión.



se realizó una prueba experimental en la que el dispositivo fue programado para dispersar alimento cada 2 minutos, con una duración de 10 segundos en cada ciclo de dispersión. La cantidad total de alimento que debía ser dispensada era de 360 gramos, divididos en tres ciclos. Los resultados de la prueba mostraron que en el primer ciclo se dispersaron 144 gramos, en el segundo 136 gramos y en el tercero 149 gramos como se muestra en la figura 23. La cantidad total dispensada fue de 429 gramos, lo que refleja una desviación respecto a la cantidad programada.

Figura 23

prueba de pesaje.



Como se muestra en la Tabla 10, cada ciclo de dispersión presentó ligeras variaciones en la cantidad de alimento dispensado, lo cual impactó en la precisión total de la dosificación. Para cuantificar la precisión del sistema, se utilizó una métrica comparativa entre la cantidad de alimento dispensado y la cantidad programada, tal como se define en la Ecuación 4:

Ecuación 4

Ecuación de Precisión en la Dosificación

$$Precision = (Cantidad\ Dispensada / Cantidad\ Programada) \times 100$$

Aplicando esta ecuación, se obtuvo una precisión del **83.91%**, lo cual se clasifica dentro de la categoría de "**Bueno**" según la rúbrica establecida para la evaluación de precisión en la dosificación. Esta rúbrica incluye tres categorías: "Excelente" (90-100%), "Bueno" (75-89%) e "Insuficiente" (menos del 75%), permitiendo evaluar objetivamente el desempeño del sistema.

En anexo se muestra las demás pruebas que se hicieron.

Tabla 10

Resultados de Dosificación por Ciclo.

Ciclo de Dispersión	Tiempo de Dispersión (min)	entre Dispersión (min)	Duración de Dispersión (s)	de Cantidad Dispersada (g)
1	2		10	144

2	2	10	136
3	2	10	149
Total	-	-	429

Como se observa en la tabla, aunque el sistema estaba programado para dispersar 360 gramos, la cantidad final fue de 429 gramos, Esto significa que el sistema funciona bien, pero hay una pequeña desviación que afecta un poco la precisión en la dosificación. Aunque está dentro de lo aceptable, se podrían hacer algunos ajustes para mejorar y alcanzar un nivel de excelente precisión.

2.3.2. Consumo energético y rendimiento.

Se analiza el consumo energético del sistema Se busca determinar el gasto energético mensual estimado del dispositivo, considerando los distintos estados de operación y su correspondiente demanda de potencia.

El dispositivo opera en dos estados:

1. **En carga:** el dispositivo consume 2A bajo 12V, resultando en una potencia de 24W.
2. **Sin carga:** el dispositivo consume 0.6A bajo 12V, con una potencia de 7.2W.

Para obtener el consumo diario y mensual, se utiliza la fórmula de potencia.

Cálculo de Potencia en cada Estado

Ecuación 5.

Potencia con carga

$$P_{carga} = 12V \times 2A = 24W$$

Ecuación 6

Potencia sin carga

$$P_{sin\ carga} = 12V \times 0.6A = 7.2W$$

Dado que el dispositivo opera en carga 20 minutos al día, este tiempo se convierte a horas este tiempo se convierte a horas dividiendo entre 60, obteniendo 0.333 horas. Así, el consumo diario en carga es de $24W \times 0.333h/1000 = 0.0094\text{ kWh}$ Durante el resto del día, el dispositivo está sin carga, es decir, 23.667 horas ($24 - 0.333$), lo que representa un consumo diario de $7.2W \times 23.667 / 1000 = 0.2005\text{ kWh}$. Al multiplicar el consumo diario en cada estado por 30 días, se obtiene un consumo

mensual en carga de $0.0094 \text{ kWh} \times 30 = 0.282 \text{ kWh}$ y sin carga $0.2005 \text{ kWh} \times 30 = 6.015 \text{ kWh}$. Finalmente, sumando ambos valores, el consumo mensual total del dispositivo es de aproximadamente 6.297 kWh .

3. Conclusiones

A través de este proyecto, se logró construir un dispensador autónomo de alimento para tilapias que, en pocas palabras, busca facilitar el trabajo diario de los piscicultores en la alimentación de los peces. El costo final del dispositivo fue de aproximadamente $550,000 \text{ COP}$, y aunque puede parecer una inversión considerable, se considera una cifra accesible que permitiría que más piscicultores, incluso aquellos de pequeña escala, puedan aprovechar esta tecnología. Este tipo de accesibilidad es clave para que el sector acuícola mejore su productividad.

En la construcción del prototipo, se utilizaron materiales resistentes y accesibles para no superar el presupuesto. Claro, idealmente, el acero inoxidable sería el material más adecuado debido a su durabilidad y resistencia a la corrosión, Aun así, los materiales alternativos no afectan ni alteran el alimento. Esto fue importante porque el dispositivo aún está en etapa experimental, y la elección de materiales más accesibles hace posible probar su funcionalidad sin disparar los gastos.

Además, el diseño del dispensador tuvo en cuenta las necesidades específicas de la tilapia, especialmente en cuanto a la temperatura óptima para su alimentación. Sabemos que la temperatura influye directamente en el consumo de alimento, si se ofrece alimento en momentos inadecuados, se corre el riesgo de desperdiciar recursos. Con el dispositivo automatizado, se logra una administración más precisa del alimento, lo cual ayuda a evitar el exceso de nutrientes en el agua y promueve un ambiente más saludable para los peces.

En cuanto a su función principal, el dispositivo automatiza la labor manual de alimentación, liberando al piscicultor de la supervisión constante. Una vez configurado el tipo de dieta, el dispensador realiza la dosificación de manera continua y ajustada a las necesidades de los peces, garantizando así una alimentación uniforme y reduciendo el tiempo requerido para esta tarea.

Este prototipo representa una solución accesible y práctica para la piscicultura, facilitando el trabajo de los piscicultores y promoviendo una alimentación más controlada y sin desperdicios. Con futuras mejoras, como la incorporación de materiales más duraderos y una reducción en el costo de producción, este dispositivo podría convertirse en una herramienta fundamental para muchos piscicultores, mejorando la eficiencia y sostenibilidad del sector.

4. Recomendaciones

Con el objetivo de mejorar el desempeño y la aplicabilidad del dispensador en condiciones reales, se sugieren algunas mejoras técnicas y metodológicas. En primer lugar, se recomienda realizar ajustes de precisión en el sistema de dosificación para lograr una mayor exactitud en la administración de los pellets. Además, sería beneficioso explorar materiales alternativos para la estructura del dispositivo; se sugiere sustituir las piezas impresas en 3D por materiales más resistentes, como aluminio o metales de alta durabilidad, especialmente en componentes expuestos a condiciones extremas, para mejorar la vida útil del dispositivo en ambientes húmedos.

Otra recomendación clave es la implementación de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) en el sistema, lo que permitiría el monitoreo remoto de variables operativas y facilitaría el control a distancia. La integración de IoT podría optimizar el seguimiento en tiempo real de parámetros de dosificación y del estado del sistema, incrementando así la eficiencia y precisión en el manejo de los cultivos.

Finalmente, se recomienda considerar el uso de paneles solares para la alimentación del dispensador, con el fin de reducir la dependencia de la red eléctrica y promover una operación autónoma en zonas con acceso limitado a fuentes de energía. Esta mejora no solo potenciaría la sostenibilidad del sistema, sino que también permitiría su implementación en áreas remotas, promoviendo la autosuficiencia y reduciendo costos operativos a largo plazo.

Referencias bibliográficas

- Grupo Axioma Group S.A.S. (2022). tecnología del plástico. Obtenido de <https://www.plastico.com/es/noticias/pvc-cuales-son-sus-efectos-en-el-ambiente-y-la-salud-humana>
- Agricultura inteligente basada en IA, Edge e IoT. (2021).
- Bruno Olivetti de Mattos, Elcimar da Silva Sousa, William Alemão Saboia. (2022). Effects of three feeding strategies (self-feeders, automatic. 10.
- Capote, S. J. (2000). Nutrición y Alimentación de Tilapia Cultivada. San José de las Lajas. La Habana, CUBA.
- Diagnóstico técnico de la cadena piscícola en Ancuya, chiles y el encano (Nariño Colombia). (2013). Revista Investigación Pecuaria, 63-69.
- Diana M. Torres - Novoa, V. L.-N. (2021). Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo. Villavicencio.
- ECUADOR, U. C. (2020). <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/densidad-suelta-compacta-y-optima-de-los-agregados/21654655>.
- INTAGRI, E. E. (s.f.). <https://www.intagri.com>. Obtenido de Requerimientos de cultivo de tilapia: <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/requerimientos-del-cultivo-de-tilapia#:~:text=Caracter%C3%ADsticas%20f%C3%ADsticas%20del%20agua&text=El%20rango%20%C3%B3ptimo%20es%20de,10%20y%2011%C2%B0c>.
- Merino, M. C., Bonilla, S. P., & Bages, F. (2013). Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia. bogota.
- MUÑOZ, I. S. (2 de noviembre de 2014). SITUACION ACTUAL DE LA ACUACULTURA Y SUS POTENCIALIDADES EN EL. Obtenido de revistas udenar: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1587/1924>
- Yhoan S. Gaviria, J. A. (2020). Propiedades físicas de alimento para tilapia roja (Oreochromis. Medellín .

BOYU. (s.f.). Alimentador automático ZW-82: Manual de usuario [PDF]. Recuperado de http://ideasmarinas.com/archivo/manuales/BOYU/Electronica%20y%20control/alimentador_zw-82_mi.pdf

Ogata, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna (5a ed.). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A

Corona Ramírez, L. G., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). Sensores y Actuadores. México: Grupo Editorial Patria.

https://books.google.com.co/books?id=wMm3BgAAQBAJ&dq=sensores+y+actuadores+electricos&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Valdés, F., & Areny, R. P. (2007). Microcontroladores fundamentos y aplicaciones con PIC (Vol. 1149). Marcombo.

https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=ODenKGOHMRkC&oi=fnd&pg=PA9&dq=microcontroladores+pic&ots=unwO1g5bZz&sig=D1vWIIcmfuMmo8vKzhSjXxAYBvg&redir_esc=y#v=onepage&q=microcontroladores%20pic&f=false

Rodríguez, A. A., González, F. P., Sueiro, J. C., Valcarce, R. L., Nartallo, C. M., & Cruz, F. P. (2007). Comunicaciones digitales. Pearson.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35586390/comdig_artes_perez-libre.pdf?1416104571=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DComunicaciones_digitales.pdf&Expires=1683894155&Signature=Vn0Dkp8qhjsAmlly-e0iwCPGyfly3e1X3t3lOr2-DpigQpwPam~RthsCEbx6K0uub36v0-IssWZR3X-ECJy7oPh5ZGsH8x3MM7pWzNr56mwiY238QpjQvRzKHJuv-YFO~0zhzSTrNgWNzKWCoaV1vB6q2Hdu45FdpVHuELOIbyhPD7ZUQxNydPKlm1HtKy3Q7BhcR6tY3SeOt~zIJ6r2U1ZLcWqr6TOL8vYRUyzsI5u-EmM23-0iIJ7gqZfq6B7H5i9ZANImZYjPmrLSFvEZtpWh5q3JobjWYOa1GJ1Zyl2e~iCUzaVKvy4Y2W aPDLNZSapO2JyZu7dzJJ9FCtpmIg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Real Academia Española. (2023). "Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora." En Diccionario de la lengua española. Recuperado de [<https://dle.rae.es/software?m=form>]

Albornoz, M. C. (2014, October). Diseño de interfaz gráfica de usuario. In XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/41578>

CASTRILLON SANTANA, M. F., Domínguez Brito, A. C., Candela Solá, S., DORESTE BLANCO, L. J., FREIRE OBREGON, D. A. V. I. D., SALGADO DE LA NUEZ, A. J., ... & Hernández Sosa, J. D. (2011). Fundamentos de informática y programación para ingeniería. Ediciones Paraninfo, SA.

Avello-Iturriagagoitia, A. (2014). Teoría de máquinas.

Peña, D. (2002). Análisis de datos multivariantes (Vol. 24). Madrid: McGraw-hill.

Moore, D. S. (2005). Estadística aplicada básica. Antoni Bosch editor.

Rendón-Macías, M. E., Villasís-Keeve, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). Estadística descriptiva. Revista Alergia México, 63(4), 397-407.

García, M., & Gómez, S. (2017). Sistemas basados en demanda en la alimentación acuícola. Latin American Journal of Aquatic Research, 45(4), 350-366.

Hernández, D., et al. (2020). Automatización en acuicultura: una revisión de sistemas de dosificación de alimento. Journal of Aquaculture, 28(1), 32-44.

Muñoz, R., & Ortega, T. (2021). La dosificación automatizada y su impacto en la sostenibilidad de la acuicultura. Journal of Environmental Science, 29(7), 705-712.

Ramírez, J., Morales, F., & Cruz, E. (2021). IA y aprendizaje automático en la predicción del consumo de alimento para peces. Aquaculture Systems, 31(9), 99-113.

Fernández, A., & López, L. (2021). Optimización de la dosificación en piscicultura mediante sistemas automáticos. Aquaculture Science Journal, 23(2), 115-130

Gómez, R., Sánchez, L., & Morales, F. (2019). Automatización en piscicultura: Aplicación de microcontroladores en sistemas de dosificación de alimento. Journal of Aquaculture Technology, 28(1), 45-58.

Jiménez, P., & Ramírez, J. (2019). Automatización de procesos en piscicultura: Un enfoque de control y monitoreo. *International Journal of Aquatic Systems*, 31(9), 89-103.

López, A., & Mendoza, R. (2020). Prototipado en acuicultura: Desarrollo y prueba de dispensadores de alimento. *Technology & Aquaculture Innovations*, 17(4), 257-268.

Martínez, D., & López, T. (2019). Sensores y actuadores en sistemas de alimentación para piscicultura. *Aquatic Engineering Review*, 36(5), 214-227.

Ortega, C., & Gutiérrez, H. (2018). Alimentación programada en piscicultura y sus beneficios en el crecimiento de los peces. *Aquaculture Reports*, 14(3), 178-190.

Pérez, T., & Hernández, O. (2021). Actuadores en sistemas de control automático para acuicultura. *Revista de Ingeniería Acuícola*, 29(6), 332-344.

Ramírez, A., & Suárez, E. (2020). Interfaz de usuario en sistemas automatizados de piscicultura. *Journal of Environmental Technology*, 27(8), 145-160.

Rodríguez, V., & Torres, J. (2020). Control automático en piscicultura: Principios y aplicaciones. *International Aquaculture Journal*, 34(7), 402-418.

Ruiz, L. (2020). Monitoreo de parámetros físico-químicos en acuicultura: Un enfoque integral. *Water Quality Science*, 22(5), 193-204.

Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP]. (2015). Resolución 2287 de 2015. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Normatividad/Resoluci%C3%B3n%202287%20de%202015%20AUNAP.pdf>

ICONTEC. (2020). Normas Técnicas Colombianas para equipos electromecánicos. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (1990). Ley 13 de 1990. Estatuto General de Pesca. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Paginas/Ley-13-de-1990.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (1991). Decreto 2256 de 1991. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Paginas/Decreto-2256-de-1991.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2011). Decreto 4181 de 2011. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Paginas/Decreto-4181-de-2011.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Ley 2268 de 2022.

<https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Leyes/LEY%202268%20DE%2003%20DE%20AGOSTO%20DE%202022.pdf>

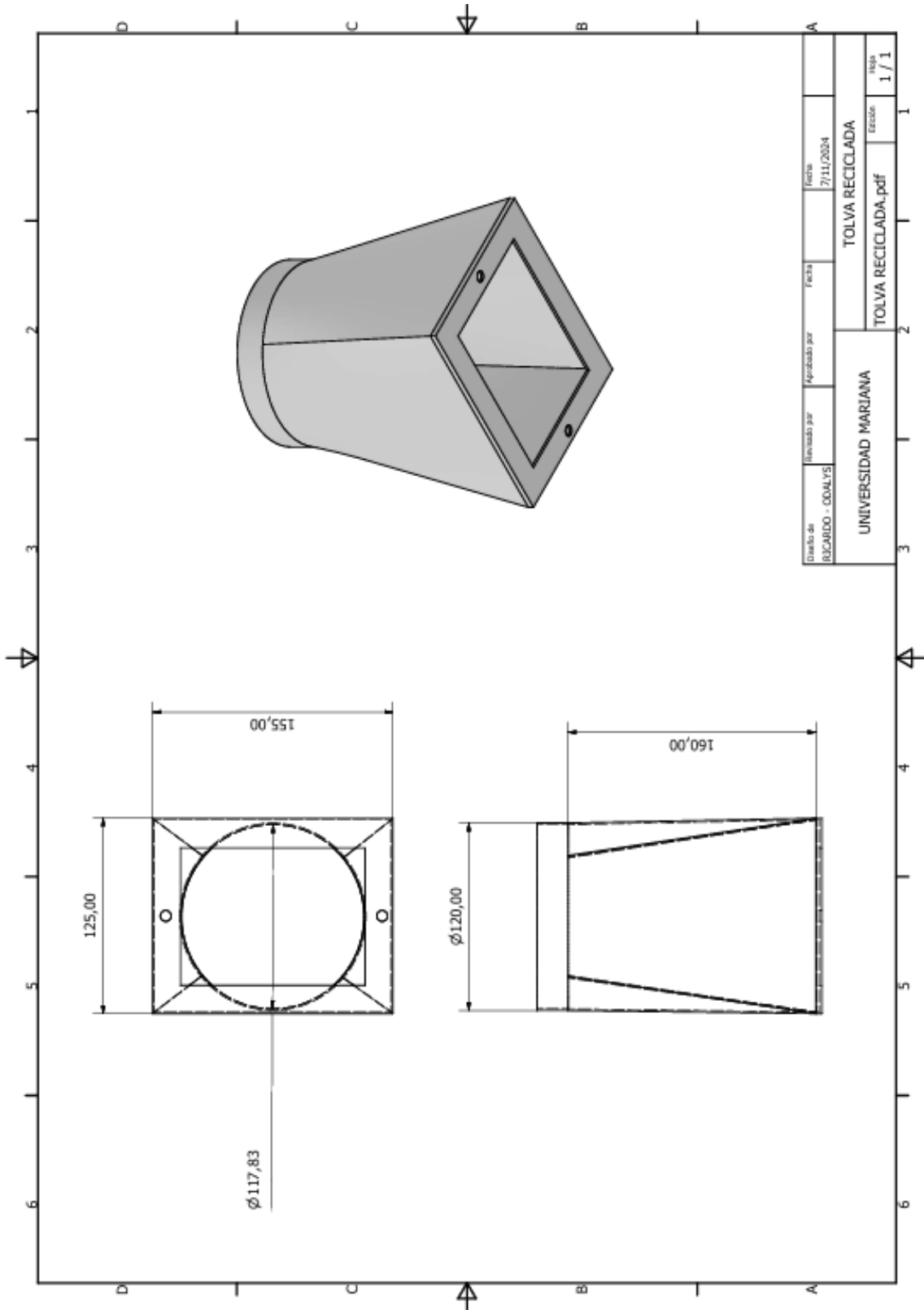
Ministerio de Minas y Energía. (2005). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). <https://www.minenergia.gov.co/Normatividad/Paginas/RETIE.aspx>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Buenas Prácticas de Manufactura para la producción de alimentos. <https://www.minsalud.gov.co/Normatividad/Paginas/BPM-2013.aspx>

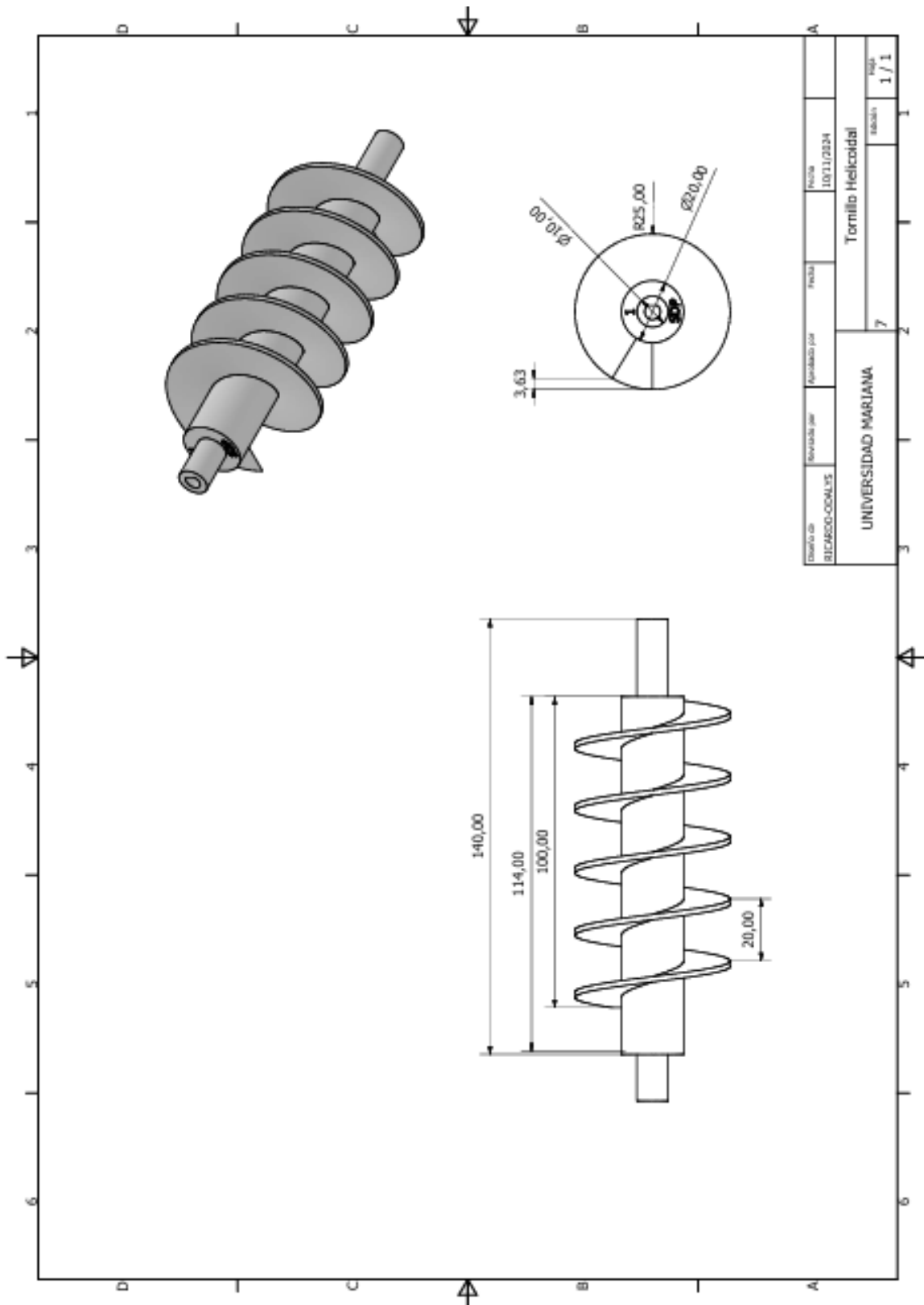
Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). Product design and development (5th ed.). McGraw-Hill.

Anexos.

Anexo1. Tolva reciclada



Anexo 2. Tornillo helicoidal



Anexo 3. Dispensador de pellets

ELEMENTO	CTDAD	LISTA DE PIEZAS Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	carlón	
2	1	helicoidal	
3	1	tapa camalón	
4	2	DF Robot FIT 0278	
5	1	chasis	
6	2	NSK 10BSA10T1X	Rodamientos de bolas con contacto angular de alta precisión (serie BSA para el soporte de husillos de bolas)
7	1	caja	
8	2	helice_new	
9	1	base_brushless	
10	1	chasis inferior	
11	2	fuelle	
12	1	1000KV Brushless Motor	
13	1	TOLVA_1	
14	2	SUJETA_NEMA	
15	1	INTERFAZ	
16	1	PLACA_ESP32	
17	1	TAPA_2_SALIDA	
18	2	TAPA_3_LATERAL	
19	1	TAPA_1_INTERFAZ	
20	1	CANAL ASPERSOR	
21	1	TOLVA RECICLADA	
22	1	TAPA_TOLVA	

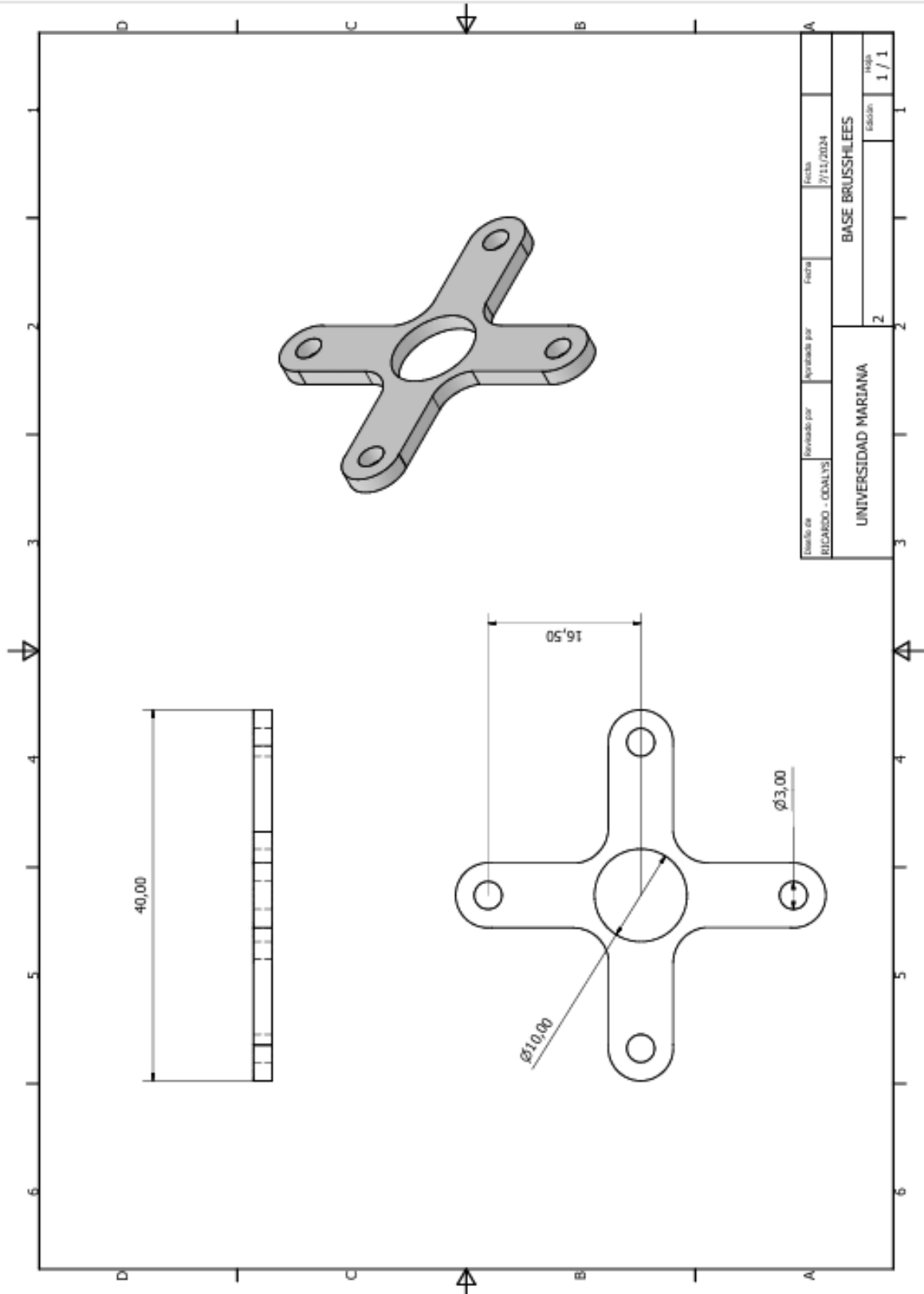
Diseño de
RICARDO OSALUIS

Revisado por
 Autorizado por
UNIVERSIDAD MARIANA

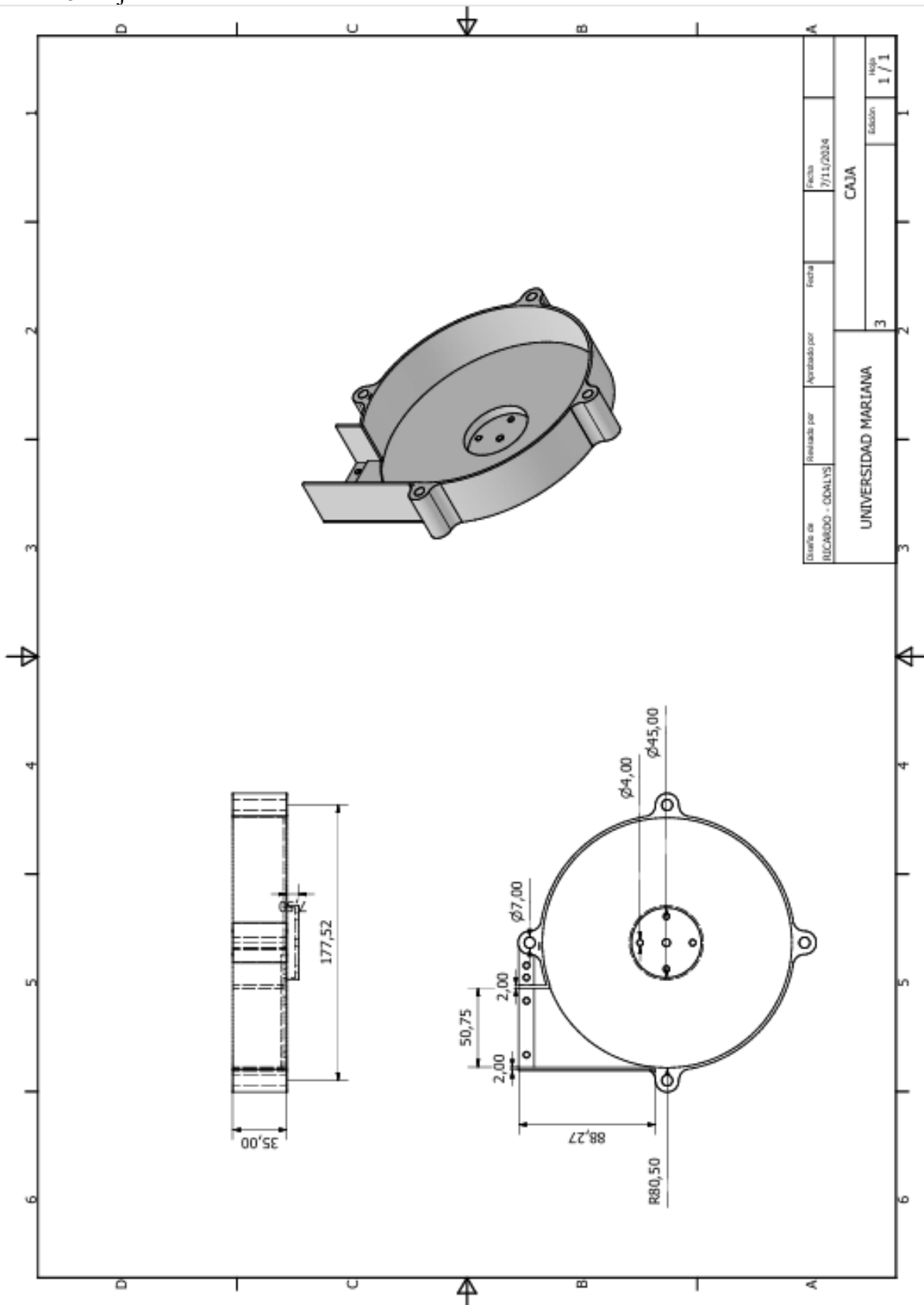
Fecha
10/11/2024

Fecha
 Hoja
1 / 1

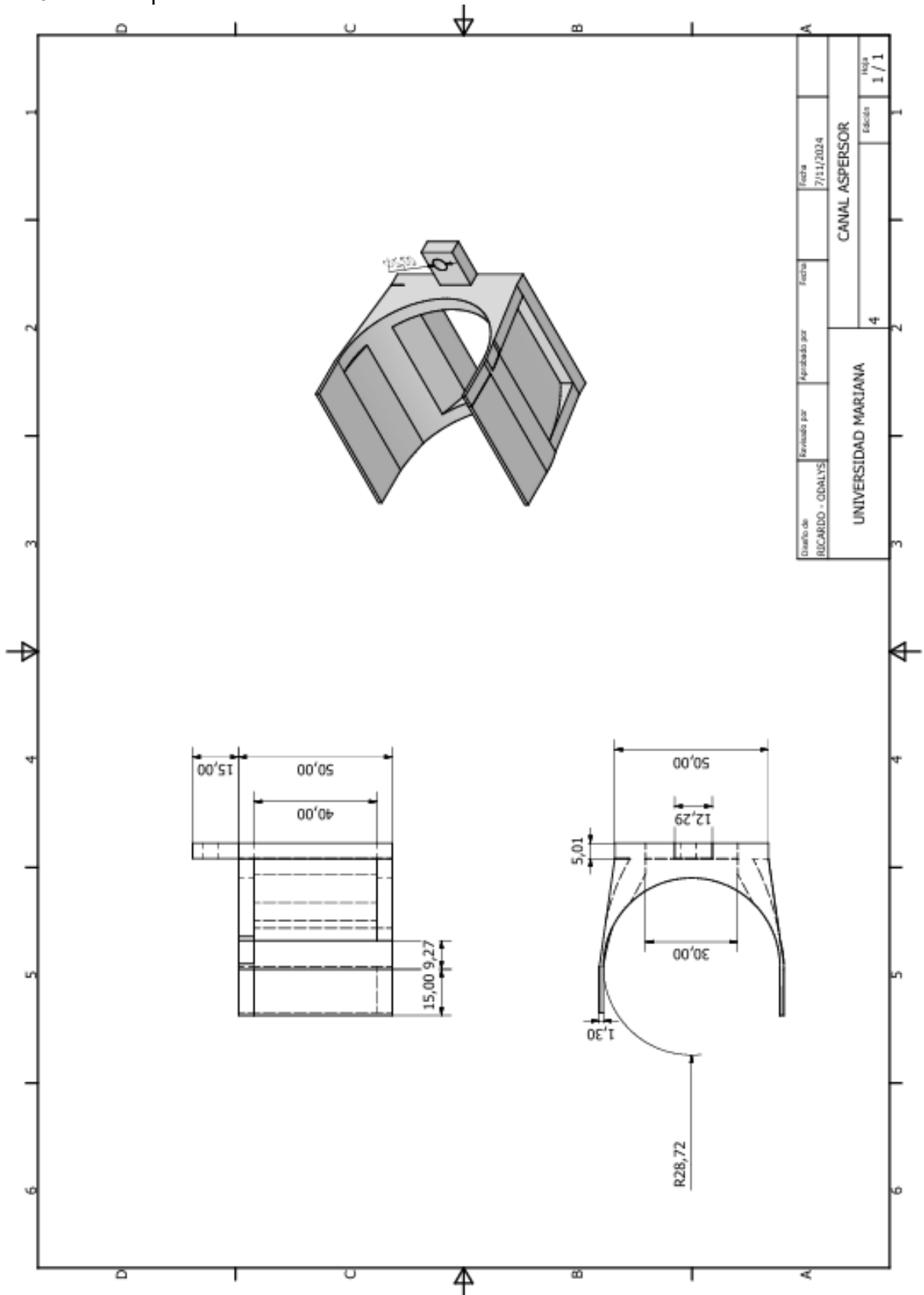
Anexo 4. Base brussels.



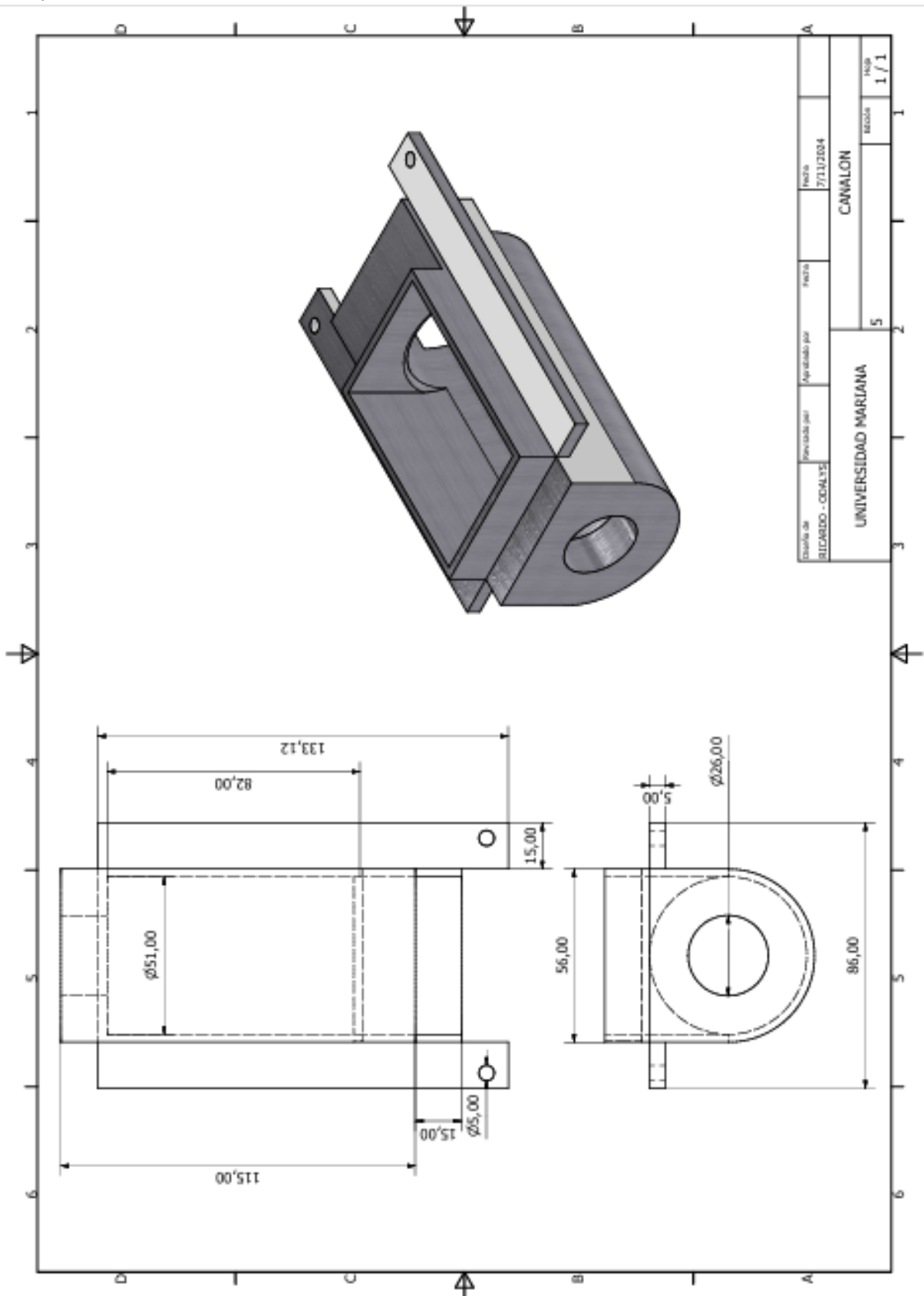
Anexo 5. Caja.



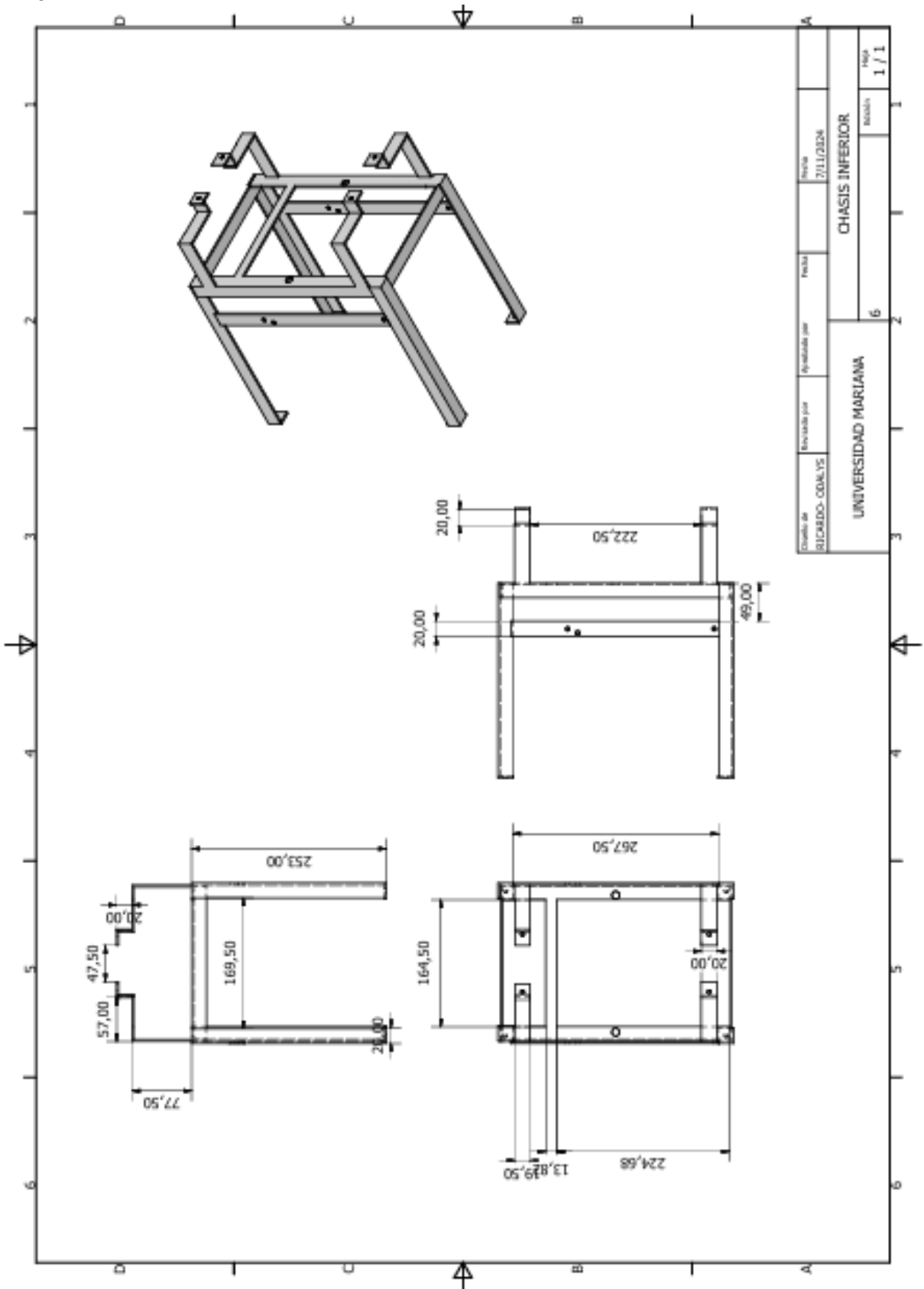
Anexo 6. Canal Aspersor



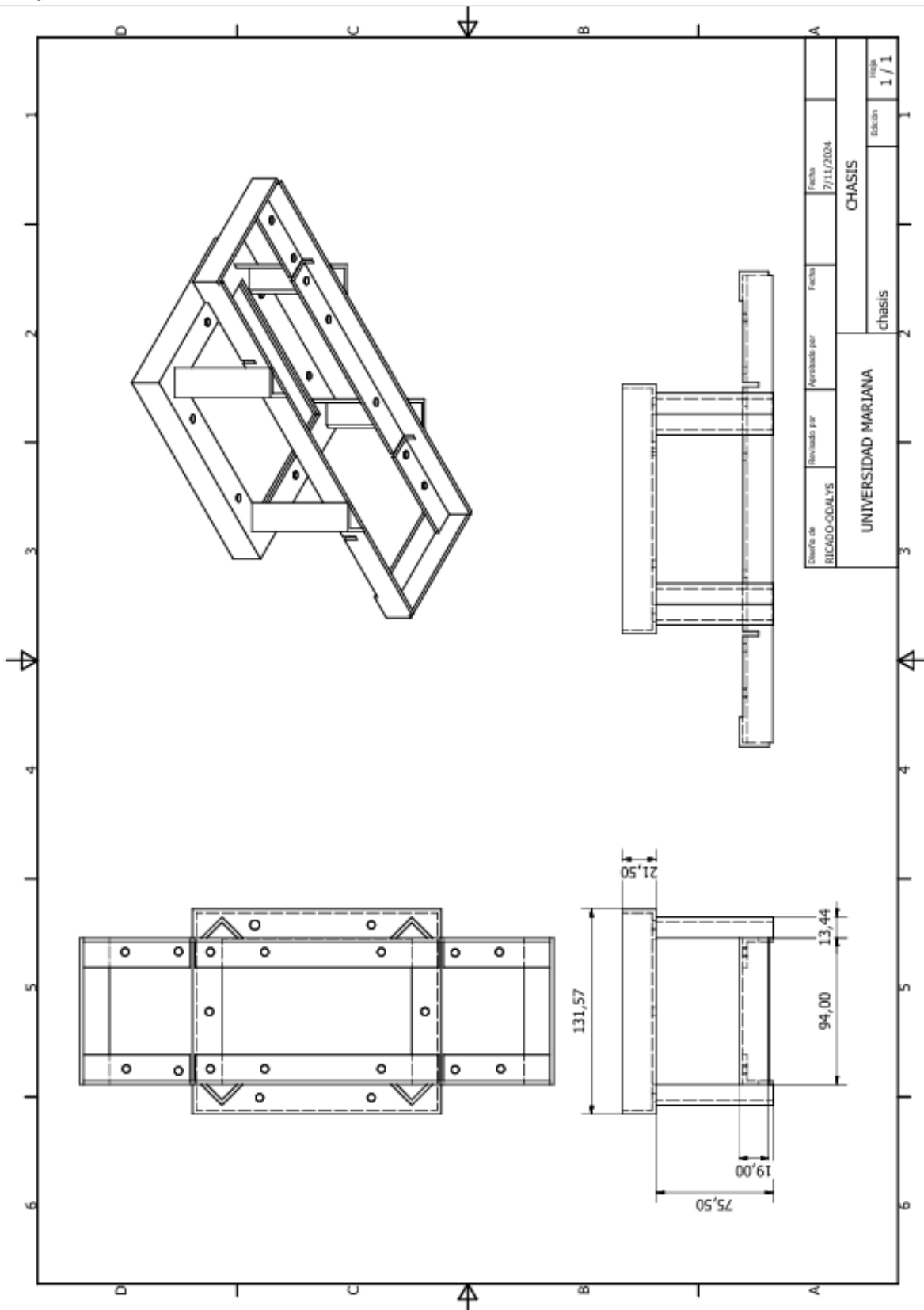
Anexo 7. Canalon



Anexo 8. Chasis inferior



Anexo 9. Chasis



Anexo 10. Pruebas cantidad de alimento dispensado.

Tabla 1: Resultados con precisión del 65%

Ciclo de Dispersión	Tiempo entre Dispersión (min)	Duración de Dispersión (s)	Cantidad Dispersada (g)
1	2	10	120
2	2	10	115
3	2	10	110

Tabla 2: Resultados con precisión del 73.4%

Ciclo de Dispersión	Tiempo entre Dispersión (min)	Duración de Dispersión (s)	Cantidad Dispersada (g)
1	2	10	135
2	2	10	125
3	2	10	140

Tabla 3: Resultados con precisión del 78.2%

Ciclo de Dispersión	Tiempo entre Dispersión (min)	Duración de Dispersión (s)	Cantidad Dispersada (g)
1	2	10	140
2	2	10	130
3	2	10	145