

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA OPTIMIZAR EL CRECIMIENTO DE
TRUCHAS ARCOÍRIS EN JAULAS FLOTANTES EN EL LAGO TITICACA, DISTRITO DE
CONIMA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

ERICK SAÚL TOQUE ENCINAS

ASESOR:

Dr. JULIO CÉSAR TAFUR SOTELO

Lima, Noviembre, 2025

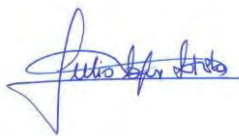
Informe de Similitud

Yo, Julio Cesar Tafur Sotelo, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada(o) DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA OPTIMIZAR EL CRECIMIENTO DE TRUCHAS ARCOÍRIS EN JAULAS FLOTANTES EN EL LAGO TITICACA, DISTRITO DE CONIMA, del autor ERICK SAÚL TOQUE ENCINAS, dejo constancia de lo siguiente

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 13%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 21/11/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de investigación, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 21 de noviembre de 2025.

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Tafur Sotelo, Julio Cesar</u>	
DNI:06470028	Firma 
ORCID: 0000-0003-3415-1969	

DEDICATORIA



A mi familia, por todo su apoyo antes y durante la elaboración de esta investigación.

A mis amigos, novia y profesores que me ayudaron durante esta etapa universitaria.

A mi asesor por su apoyo durante la elaboración de mi investigación

RESUMEN

Este trabajo busca apoyar a los acuicultores del distrito de Conima, en el Lago Titicaca, frente a la alta mortandad del 20% de alevinos y las dificultades en los turnos de alimentación, ya sea por problemas del operario o condiciones climáticas adversas. Aunque existen proyectos centrados en estanques, este diseño se centra en el cultivo de truchas en jaulas flotantes entre 100 y 150 metros de las orillas con baja conectividad a WiFi.

Se sigue la metodología planteada por la PUCP y UFSC (2021) para lograr el diseño de los subsistemas que componen el proyecto final. El diseño se basa en la definición de una problemática, marco teórico, estado del arte, requisitos de proyecto, una descomposición funcional del sistema y una integración para obtener el bosquejo físico y los diagramas de flujo del comportamiento del sistema. El objetivo del trabajo es desarrollar el diseño de un sistema de alimentación automática y monitoreo de la calidad de agua de jaulas flotantes de trucha arcoíris del distrito de Conima, en el lago Titicaca, para el crecimiento óptimo de las truchas.

La solución consiste en subsistemas que se integran para lograr el monitoreo remoto y alimentación automática de las truchas. Se tienen tres subsistemas principales: energización, monitoreo de parámetros, alimentación automática. El primer subsistema utiliza un panel fotovoltaico para energizar a los otros subsistemas. El subsistema de monitoreo mide el pH, oxígeno disuelto y temperatura del agua donde se ubican las jaulas flotantes, donde se tiene en crecimiento a las truchas. El sistema alimentador cuenta con una capacidad de almacenamiento de 120 kg de alimento para brindar alimento por 3 días según las condiciones de los peces y de las condiciones de la masa de agua. Así mismo, se plantea utilizar los celulares inteligentes para que el usuario haga seguimiento de los parámetros.

INDICE

RESUMEN.....	I
INDICE.....	II
INDICE DE TABLAS.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
1. CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y OBJETIVOS.....	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3. ALCANCE.....	3
1.4. METODOLOGÍA.....	4
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	8
2.1. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.1. <i>Truchas</i>	8
2.1.2. <i>Piscicultura</i>	10
2.1.3. <i>Calidad del agua</i>	11
2.1.4. <i>Monitoreo</i>	13
2.1.5. <i>Monitoreo remoto</i>	14
2.1.6. <i>Alimentación de truchas</i>	15
2.1.7. <i>Alimentación automática</i>	17
2.1.8. <i>Fuentes de energización</i>	19
2.2. ESTADO DEL ARTE.....	19
2.2.1. <i>Máquinas comerciales existentes</i>	19
2.2.2. <i>Patentes existentes</i>	23
2.2.3. <i>Tesis existentes</i>	25
2.2.4. <i>Artículos científicos</i>	26
2.2.5. <i>Tabla comparativa para el subsistema de monitoreo</i>	29
2.2.6. <i>Tabla comparativa para subsistema de alimentación</i>	30
2.3. REQUISITOS POR NORMAS O REGULACIONES.....	32
2.4. DETERMINACIÓN DE LOS REQUISITOS DEL PROYECTO.....	33
2.5. PROPUESTA DE DISEÑO DEL PRODUCTO.....	34
3. CAPÍTULO 3: DISEÑO CONCEPTUAL.....	36

3.1.	DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL.....	36
3.1.1.	<i>Funciones relacionadas al subsistema de energización</i>	36
3.1.2.	<i>Funciones relacionadas al subsistema de monitoreo</i>	37
3.1.3.	<i>Funciones relacionadas al subsistema de alimentación</i>	39
3.2.	ARQUITECTURA DEL SISTEMA MECATRÓNICO	41
3.3.	ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	42
3.4.	BOSQUEJOS MECÁNICOS.....	43
3.5.	DIAGRAMAS DE FLUJO	44
4.	CAPÍTULO 4 SUBSISTEMA DE MONITOREO	46
4.1.	DOMINIO ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO	46
4.1.1.	<i>Sensores de pH, oxígeno disuelto, temperatura</i>	46
4.1.2.	<i>Selección de microcontrolador</i>	49
4.1.3.	<i>Selección de reloj</i>	50
4.1.4.	<i>Selección de regulador de voltaje</i>	51
4.1.5.	<i>Selección del ventilador</i>	52
4.1.6.	<i>Conexiones</i>	53
4.2.	DOMINIO MECÁNICO	53
4.2.1.	<i>Características de las jaulas flotantes</i>	53
4.2.2.	<i>Material y distribución interna</i>	54
4.3.	DOMINIO DE SOFTWARE	57
4.3.1.	<i>Diagramas de flujo</i>	57
4.3.2.	<i>Interfaz de usuario</i>	62
5.	CAPÍTULO 5 SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	63
5.1.	DISEÑO TEÓRICO.....	63
5.1.1.	<i>Ubicaciones del sistema de alimentación</i>	63
5.1.2.	<i>Capacidad de carga</i>	64
5.1.3.	<i>Material y dimensiones para la tolva</i>	67
5.1.4.	<i>Mecanismo de dispensación</i>	71
5.1.5.	<i>Cálculo del tornillo sin fin</i>	72
5.1.6.	<i>Mecanismo de distribución</i>	78
5.2.	DOMINIO MECÁNICO	81
5.2.1.	<i>Soportes y uniones internas</i>	81
5.2.2.	<i>Selección del mecanismo de dispersión</i>	81
5.2.3.	<i>Selección del mecanismo de dosificador</i>	82
5.2.4.	<i>Soportes y uniones externas</i>	83

5.2.5.	<i>Análisis de esfuerzos de las zonas críticas</i>	84
5.3.	DOMINIO ELÉCTRICO.....	85
5.3.1.	<i>Selección del actuador</i>	85
5.3.2.	<i>Selección del driver del motor</i>	87
5.3.3.	<i>Selección del controlador</i>	88
5.3.4.	<i>Selección del sensor capacitivo</i>	89
5.3.5.	<i>Conexión de componentes</i>	89
5.4.	DOMINIO DE SOFTWARE	90
5.4.1.	<i>Diagrama de flujo de funcionamiento</i>	90
5.4.2.	<i>Funcionamiento del dosificador – tornillo sin fin</i>	91
6.	CAPÍTULO 6 SUBSISTEMA DE ENERGIZACIÓN	92
6.1.	DISEÑO TEÓRICO.....	92
6.1.1.	<i>Cálculos de requerimientos energéticos</i>	92
6.2.	DOMINIO MECÁNICO	93
6.2.1.	<i>Soporte y uniones externas</i>	94
6.3.	DOMINIO ELÉCTRICO.....	94
6.3.1.	<i>Selección del panel solar</i>	94
6.3.2.	<i>Selección del controlador de carga</i>	95
6.3.3.	<i>Selección de la batería</i>	97
6.3.4.	<i>Conexiones de los componentes</i>	98
6.4.	DOMINIO DE SOFTWARE/CONTROL.....	100
6.4.1.	<i>Diagrama de flujo</i>	100
7.	CAPÍTULO 7 DISEÑO INTEGRADO	102
7.1.	ELEMENTO DE FLOTACIÓN.....	102
7.1.1.	<i>Volumen sumergido</i>	103
7.1.2.	<i>Material para flotadores</i>	103
7.2.	MODELO 3D.....	104
7.3.	PRUEBA DE COMUNICACIÓN REMOTA.....	105
7.4.	PROCESOS DE MANUFACTURA.....	107
8.	CAPÍTULO 8: PLANOS Y PRESUPUESTO	108
8.1.	LISTADO DE PLANOS	108
8.2.	PRESUPUESTO	109
8.2.1.	<i>Componentes electrónicos</i>	109
8.2.2.	<i>Componentes mecánicos</i>	110
8.2.3.	<i>Costos de diseño, mano de obra y servicios</i>	112

8.2.4. Presupuesto total	112
8.2.5. Análisis financiero	113
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES Y TRABAJOS A FUTURO	115
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXOS.....	124



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Condición de la trucha en función del oxígeno disuelto según FONDEPES (2014)	12
Tabla 2.	Condición de la trucha en función de la temperatura según FONDEPES (2014).	12
Tabla 3.	Condición de la trucha en función del potencial de hidrógeno según FONDEPES (2014)	13
Tabla 4.	Alimentación en kg de alimento por 100 kg de peces en un día según su longitud y temperatura del agua.	15
Tabla 5.	Tabla de alimentación en kg de alimento por 100 kg de peces en un día según su longitud y temperatura del agua.	16
Tabla 6.	Comparación de prototipos según la especie que monitorean y otras características de los parámetros monitoreados.	29
Tabla 7.	Comparación de prototipos según la especie que monitorean y otras características de los parámetros monitoreados.	30
Tabla 8.	Rangos de los principales parámetros de agua de cultivo para la crianza de trucha	32
Tabla 9.	Opciones de la función medir el pH.	46
Tabla 10.	Opciones de la función medir temperatura.	47
Tabla 11.	Opciones de la función medir el oxígeno disuelto.	48
Tabla 12.	Opciones de la función gestión de señales	49
Tabla 13.	Selección de reloj	50
Tabla 14.	Selección del regulador de voltaje tipo buck.	51
Tabla 15.	Selección de ventilador.	52
Tabla 16.	Selección de motor a grandes rasgos	85
Tabla 17.	Selección de motor paso a paso.	86

Tabla 18.	Selección del driver para el motor.....	87
Tabla 19.	Selección del microcontrolador.....	88
Tabla 20.	Selección del microcontrolador.....	89
Tabla 21.	Tabla de consumo energético.....	92
Tabla 22.	Selección del panel.....	94
Tabla 23.	Selección del tipo controlador de carga.....	96
Tabla 24.	Selección del controlador de carga MPPT.....	96
Tabla 25.	Selección de la batería.....	97
Tabla 26.	Selección de material para flotadores.....	103
Tabla 27.	Listado de planos eléctricos.....	108
Tabla 28.	Listado de planos mecánicas.....	108
Tabla 29.	Precio de los componentes electrónicos y eléctricos.....	109
Tabla 30.	Precio de los componentes de polietileno de alta densidad (HDPE).....	110
Tabla 31.	Precio de los componentes de acero galvanizado.....	111
Tabla 32.	Precio de los componentes de acero galvanizado.....	112

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Metodología del diseño mecatrónico UFSC – PUCP.....	5
<i>Figura 2.</i>	Cosecha de trucha entre 2009-2021 en toneladas.....	9
<i>Figura 3.</i>	Etapas de cultivo de la trucha arco iris según SNA (2022)	9
<i>Figura 4.</i>	Jaula flotante para truchas arco iris en Puno y fotografía de una jaula flotante instalada	11
<i>Figura 5.</i>	Forma del alimento para truchas de AQUATECH.....	17
<i>Figura 6.</i>	Sonda multiparámetro HI98194	20
<i>Figura 7.</i>	Alimentador automático para camarones	21
<i>Figura 8.</i>	Alimentador automático sobre rieles	22
<i>Figura 9.</i>	Alimentador automático centralizado.....	22
<i>Figura 10.</i>	Bosquejo de la patente US3231314A.....	23
<i>Figura 11.</i>	Bosquejo del alimentador creado por Halford.....	24
<i>Figura 12.</i>	Diagrama de funcionamiento general de sistema de monitoreo	25
<i>Figura 13.</i>	Arquitectura del sistema de monitoreo para estanques de camarones.....	26
<i>Figura 14.</i>	Descripción general de los módulos del sistema para granjas de camarones	27
<i>Figura 15.</i>	Diagrama general del prototipo de monitoreo de calidad de agua	28
<i>Figura 16.</i>	Arquitectura del sistema mecatrónico	42
<i>Figura 17.</i>	Arquitectura del sistema eléctrico electrónico.....	43
<i>Figura 18.</i>	Ubicación de la jaula respecto a la orilla.....	53
<i>Figura 19.</i>	Jaula donde se instalaría el sistema mecatrónico.....	54
<i>Figura 20.</i>	Modelo 3D preliminar del subsistema de monitoreo.....	55

<i>Figura 21.</i>	Imagen de cómo se sostienen las sondas	56
<i>Figura 22.</i>	Diagrama de medición del pH.....	58
<i>Figura 23.</i>	Diagrama de flujo de medición del oxígeno disuelto	59
<i>Figura 24.</i>	Diagrama de flujo de la medición de temperatura.....	60
<i>Figura 25.</i>	Diagrama de flujo del horario para alimentar a las truchas	61
<i>Figura 26.</i>	Interfaz de usuario simple	62
<i>Figura 27.</i>	Ubicaciones del sistema mecatrónico dentro de la jaula	63
<i>Figura 28.</i>	Esquema referencial para el traslado del sistema.	64
<i>Figura 29.</i>	Tabla de porcentaje de alimento por características	65
<i>Figura 30.</i>	Dimensiones generales del contenedor y otros elementos del sistema.....	68
<i>Figura 31.</i>	DCL de la tolva tomado de Casas y Shirley (2019) según las disposiciones del Eurocódigo (EN 1991-4) para tolvas y silos.....	70
<i>Figura 32.</i>	Presiones sobre la superficie de una tolva considerando una carga de 1600 N..	71
<i>Figura 33.</i>	Dimensiones del conducto de salida de la tolva	72
<i>Figura 34.</i>	Sentido de giro y desplazamiento del contenido del tornillo sinfín.....	72
<i>Figura 35.</i>	Diagrama de cuerpo libre de la varilla interna del tornillo sinfín.....	73
<i>Figura 36.</i>	Esfuerzo sobre la barra central del tornillo sinfín	74
<i>Figura 37.</i>	Dimensiones del rodamiento 6300-2RSH	75
<i>Figura 38.</i>	Rango de distribución del alimento	78
<i>Figura 39.</i>	Posiciones consideradas como críticas para la paleta.....	80
<i>Figura 40.</i>	Mecanismo y actuador para el distribuidor de alimento de truchas.	82
<i>Figura 41.</i>	Dosificador del alimento – vista de corte para ver componentes	82

<i>Figura 42.</i>	Estructura metálica que soporta la tolva.....	83
<i>Figura 43.</i>	Análisis de la estructura metálica que soporta la tolva y los componentes resaltando los componentes que soporta más esfuerzo	84
<i>Figura 44.</i>	Diagrama de flujo del dispensador con sus funciones desarrolladas.....	90
<i>Figura 45.</i>	Diagrama de flujo del subsistema alimentador y del mecanismo distribuidor ...	91
<i>Figura 46.</i>	Vista isométrica, posterior, lateral e inclinada del panel solar	93
<i>Figura 47.</i>	Esquemático del subsistema de energización.....	99
<i>Figura 48.</i>	Diagrama de flujo del subsistema de energización.....	100
<i>Figura 49.</i>	Modelo 3D integrado de los subsistemas con cortes de sección lateral e isométrico.	104
<i>Figura 50.</i>	Esquema de la prueba preliminar de comunicación remota con ESP32 y sensor DS18B20.	105
<i>Figura 51.</i>	Interfaz temporal para la prueba de comunicación y validación de mensajes de temperatura adecuada.....	106

1. CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y OBJETIVOS

Este capítulo aborda la problemática de la acuicultura en el lago Titicaca, centrado en el crecimiento óptimo de las truchas arcoíris a partir de su alimentación y las condiciones del agua en su hábitat. Asimismo, se presentan el objetivo general, los objetivos específicos y la metodología utilizada en el presente trabajo.

1.1. Problemática

La acuicultura en jaulas flotantes ha experimentado un crecimiento significativo en el Lago Titicaca, consolidándose como una actividad económica clave para la región debido a su impacto en la producción pesquera y su contribución al desarrollo local. La producción de trucha en Puno durante el 2023 representó aproximadamente 20 millones de dólares de exportación a países como Estados Unidos, Japón entre otros (Ministerio de la Producción, 2024). No obstante, su eficiencia se ve afectada por diversos factores ambientales y operativos que inciden directamente en la supervivencia y el crecimiento de las truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Entre estos factores, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto y el pH desempeñan un papel fundamental, ya que las truchas son organismos poiquiloterms cuyo metabolismo depende estrictamente de las condiciones del entorno acuático. Estudios previos han demostrado que una calidad inadecuada del agua puede provocar una mortalidad de hasta el 20% en los alevinos en crecimiento (Plazas y Paz, 2019), lo que subraya la necesidad de un monitoreo continuo y preciso de estos parámetros. A pesar de esta necesidad, en la actualidad el monitoreo de la calidad del agua se realiza manualmente, lo que lo hace dependiente de la disponibilidad de especialistas, quienes no siempre pueden garantizar un seguimiento constante de las jaulas flotantes (Aceituno, 2022).

Por otro lado, el proceso de alimentación manual en jaulas flotantes presenta múltiples deficiencias que comprometen tanto el crecimiento de las truchas como la rentabilidad de los acuicultores. Las asociaciones productoras suelen operar con un mínimo de cuatro jaulas flotantes de 10 × 10 metros y 5 metros de profundidad, con capacidades que varían entre 10,000 y 40,000 truchas por unidad. Para determinar la cantidad óptima de alimento, existen tablas de doble entrada que correlacionan la temperatura del agua y el tamaño de las truchas con la biomasa total. Sin embargo, en la práctica, muchos acuicultores no aplican estos cálculos y distribuyen raciones uniformes sin un criterio técnico adecuado (Sistema Nacional de Acuicultura, 2022a). Esta falta de precisión incrementa los costos operativos y reduce la eficiencia alimentaria, generando problemas como desnutrición, sobrealimentación y mortalidad prematura. Además, una administración ineficiente del alimento

fomenta la competencia entre las truchas, lo que puede derivar en canibalismo, afectando la homogeneidad del crecimiento y la calidad del producto final. El estudio de Imués-Figueroa et al. (2018) evidencia que el exceso de alimento no consumido y la acumulación de materia orgánica en jaulas flotantes de trucha arcoíris aumentan los niveles de nitrato o fósforo, reducen el oxígeno disuelto y deterioran la calidad del agua, como se observó en el Lago Guamuez con acuicultura intensiva.

El método tradicional de alimentación manual requiere que los acuicultores se trasladen en embarcaciones hasta las jaulas flotantes hasta tres veces al día, lo que implica la dedicación exclusiva de al menos dos operarios (Cuarite, 2015). Este proceso no solo es costoso y repetitivo, sino que también está sujeto a condiciones climáticas adversas, como fuertes vientos y lluvias, que dificultan el acceso a las jaulas y aumentan el riesgo operativo (Sistema Nacional de Acuicultura, 2022a).

Dado este contexto, la implementación de un sistema automatizado de alimentación y monitoreo surge como una solución estratégica para optimizar el manejo del alimento y mejorar el control de la calidad del agua. Un sistema de este tipo permitiría dosificar el alimento en función de la temperatura del agua, el tamaño de las truchas y los horarios óptimos de alimentación, garantizando así una distribución eficiente y reduciendo el desperdicio. Además, un sistema automatizado reduciría la dependencia de mano de obra, minimizaría el impacto de las condiciones climáticas adversas y optimizaría el uso de recursos, mejorando la sostenibilidad de la producción. La creciente demanda de trucha en el mercado nacional e internacional refuerza la necesidad de tecnologías innovadoras que modernicen la acuicultura y mejoren la competitividad del sector en la región de Puno (ComexPerú, 2023). En este sentido, las exportaciones de trucha han experimentado un crecimiento promedio del 17.2% anual entre 2016 y 2020, lo que evidencia el potencial de la acuicultura para fortalecer la economía local (Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales, 2021).

En este contexto, el desarrollo de un sistema automatizado de monitoreo y alimentación en jaulas flotantes representa una solución viable para mejorar la eficiencia en la producción de truchas arcoíris. Este estudio propone el diseño de un sistema mecatrónico capaz de medir en tiempo real la calidad del agua, calcular la cantidad óptima de alimento y dosificarlo de manera automatizada, minimizando la intervención humana y mejorando las condiciones de cultivo. La implementación de esta tecnología no solo contribuiría a la sostenibilidad de la acuicultura en el Lago Titicaca, sino que también fortalecería la competitividad del sector en los mercados nacionales e internacionales.

1.2. Objetivos del Proyecto

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema automático para optimizar el crecimiento de truchas arcoíris criadas en jaulas flotantes en el distrito de Conima, en el lago Titicaca, mediante el monitoreo continuo de la calidad de agua y dosificación de alimentación.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar los procesos actuales de monitoreo remoto de la calidad de agua y alimentación automática en jaulas flotantes.
- Diseñar conceptualmente los subsistemas de monitoreo remoto, alimentación automática y energización para su implementación en jaulas flotantes.
- Diseñar el subsistema de monitoreo remoto de la temperatura, pH y oxígeno disuelto de las masas de agua en las jaulas flotantes, incluyendo el análisis estructural de sus componentes críticos y la simulación de la comunicación remota para una interfaz intuitiva para el usuario.
- Diseñar el subsistema para brindar una alimentación automática basada en la temperatura, tamaño de la trucha y horarios de alimentación, considerando el análisis estructural de los componentes mecánicos y eléctricos esenciales para su correcto funcionamiento.
- Diseñar un subsistema de energización que almacene y brinde energía eléctrica a los otros subsistemas del proyecto, incluyendo el análisis de los componentes eléctricos cruciales.
- Elaborar los planos eléctricos, mecánicos y diagramas de flujo que permitan la construcción e integración de los subsistemas.

1.3. Alcance

Este estudio se enfoca en el estudio y diseño de un sistema automatizado para el monitoreo y nutrición de truchas arcoíris en jaulas flotantes. Se elaborarán diseños conceptuales y análisis técnicos de los tres subsistemas fundamentales con la finalidad de maximizar la eficiencia alimentaria en la acuicultura sin la necesidad de una intervención manual continua.

El estudio no incluye la implementación física del sistema ni pruebas experimentales en campo, debido a las limitaciones de recursos y alcance del estudio. En su lugar, se realizarán análisis estructurales, eléctricos y electrónicos para validar la viabilidad del diseño. Se llevarán a cabo simulaciones para evaluar el comportamiento de los subsistemas y su integración funcional, incluyendo la comunicación remota mediante una interfaz de usuario intuitiva. Si bien los subsistemas serán

analizados de manera independiente, su integración será representada a través de un modelo 3D desarrollado en software CAD, como Autodesk Inventor. Este modelo permitirá evaluar la disposición de los componentes, la compatibilidad entre las partes mecánicas y electrónicas, y facilitará la detección de posibles problemas de ensamblaje antes de su implementación.

El sistema será diseñado específicamente para jaulas flotantes de 10×10 metros y 5 metros de profundidad en el distrito de Conima, zona norte del lago Titicaca, donde las condiciones ambientales son más desafiantes que en estanques cerrados. La investigación se enfocará en truchas juveniles y de engorde, con tamaños de 12 cm a 26 cm y una biomasa aproximada de 10,000 individuos por jaula.

1.4. Metodología

La metodología utilizada en este estudio se basa en el enfoque propuesto en el documento “Design Methodology for Mechatronic Systems” (De Negri et al., 2021). Para esta investigación se seguirán los siguientes pasos recomendados por esta metodología:

- Planificación y aclaración de tareas (*Planning and task clarification*)
- Diseño conceptual (Conceptual design)
- Modelo conceptual (Conceptual model)
- Diseño de realización (*Embodiment design*)
- Modelo integrado (Definitive model)

Dado que esta tesis abarca hasta viabilidad de la solución (*Solution feasibility oriented*), el diseño detallado (*Detailed design*) y el producto modelo (*Product model*) no serán realizados (Ver Figura 1). Esta metodología permite la retroalimentación constante entre las diferentes etapas de diseño y las consideraciones del cliente y/o usuario final (De Negri et al., 2021).

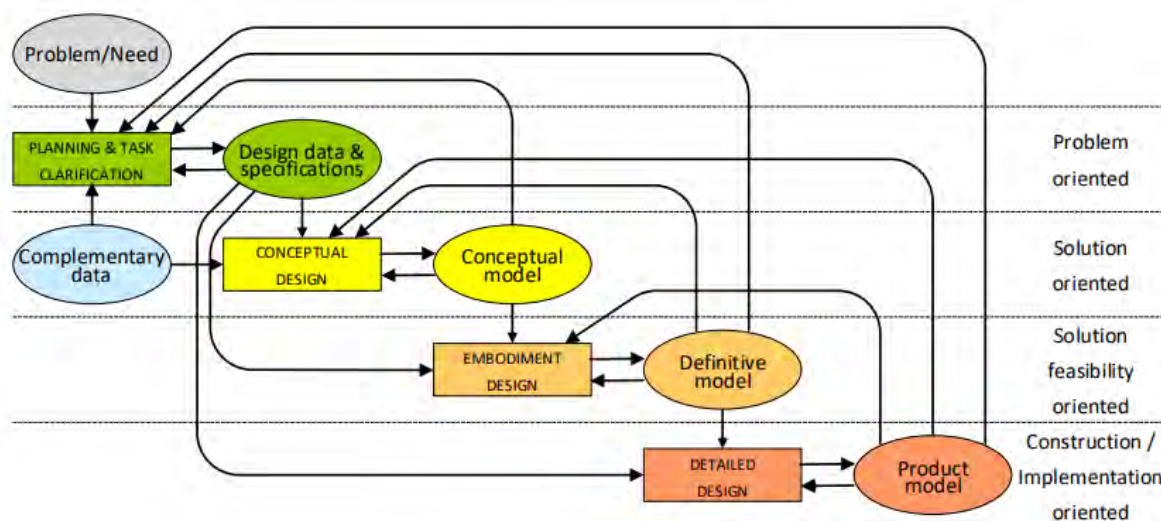


Figura 1. Metodología del diseño mecatrónico UFSC – PUCP

Nota. Tomado de De Negri et al. (2021)

En la fase inicial del desarrollo del sistema, se realiza un estudio detallado sobre los desafíos que enfrenta la acuicultura en jaulas flotantes dentro del lago Titicaca, con especial énfasis en las dificultades asociadas a la alimentación y al monitoreo de la calidad del agua desde una perspectiva ingenieril. Para ello, se efectúa una revisión exhaustiva de las tecnologías existentes en alimentadores automáticos y sistemas de monitoreo remoto, con el propósito de analizar su aplicabilidad en entornos lacustres y detectar sus posibles limitaciones. Además, se lleva a cabo un estudio de los requerimientos específicos de los acuicultores de la región, considerando aspectos clave como el acceso a fuentes de energía, la conectividad limitada y las condiciones ambientales adversas. En este contexto, la Asociación de Productores Crianza de Trucha Brisas del Mallco se define como el principal usuario objetivo, asegurando que el diseño del sistema se adapte a las necesidades reales del sector, permitiendo mejorar la eficiencia operativa y favorecer la sostenibilidad del cultivo de truchas en la zona.

En la segunda etapa, se realiza una elección preliminar basada en una evaluación técnica y económica de los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos para los tres subsistemas principales: monitoreo, alimentación y energización. Como parte de este proceso, se lleva a cabo una descomposición funcional para identificar las funciones esenciales que permitan un monitoreo remoto preciso, una alimentación automatizada eficiente y un suministro energético adecuado para el sistema.

A partir de este análisis, se define la arquitectura mecatrónica y eléctrica-electrónica, estableciendo los bosquejos físicos de los subsistemas y los diagramas de flujo necesarios para

comprender su funcionamiento. Asimismo, se lleva a cabo la selección de sensores, actuadores y otros dispositivos clave, asegurando que cada componente cumpla con los requisitos operativos y ambientales del sistema. En cuanto a la interfaz de usuario, se prioriza el uso de teléfonos inteligentes con sistema operativo Android, considerando la accesibilidad y facilidad de uso para los acuicultores locales.

En la tercera etapa, se lleva a cabo el diseño detallado de cada subsistema, abarcando monitoreo remoto, alimentación automática y energización. En el caso del subsistema de monitoreo, se prioriza el desarrollo del dominio eléctrico y de software, con un enfoque en la captura y procesamiento de datos provenientes de los sensores de pH, temperatura y oxígeno disuelto. Para gestionar esta información de manera eficiente y minimizar la necesidad de desplazamientos a las jaulas flotantes, se integra un microcontrolador, permitiendo la transmisión remota de datos.

Como parte del proceso de diseño, se elabora la arquitectura mecatrónica y eléctrica-electrónica, definiendo la interacción entre los diferentes subsistemas. Además, se desarrolla un diseño preliminar de la interfaz de usuario, asegurando que los acuicultores puedan visualizar la información de manera intuitiva y en tiempo real. Finalmente, se construyen diagramas de flujo que modelan el comportamiento del sistema, facilitando su integración y futura implementación.

El subsistema de alimentación se fundamenta en la temperatura del agua monitoreada, el tamaño de las truchas y los horarios óptimos de alimentación, permitiendo la activación de los mecanismos de dispersión de alimento dentro de las jaulas sin generar aglomeraciones. Para ello, se prioriza el diseño mecánico, asegurando una selección adecuada tanto del mecanismo de distribución como del mecanismo dosificador que regula la cantidad de alimento suministrado. Además, se considera la capacidad estructural del sistema, el cual deberá almacenar entre 80 y 120 kilogramos de alimento, garantizando su suministro por un período mínimo de tres días, según los requerimientos nutricionales de las truchas.

Por otro lado, el subsistema de energización juega un papel fundamental, ya que las jaulas flotantes se encuentran a una distancia de 100 a 150 metros de la orilla, lo que dificulta el acceso a fuentes de energía convencionales. Para asegurar el funcionamiento autónomo del sistema, se incorpora un panel solar, junto con un regulador de carga y una batería, proporcionando la energía necesaria para los demás subsistemas. Asimismo, se diseña la integración energética del sistema, considerando las conexiones eléctricas óptimas, el soporte estructural y el aislamiento eléctrico adecuado para garantizar su estabilidad y seguridad operativa en el entorno lacustre.

En la cuarta etapa, se desarrolla un diseño integral que abarca el análisis estructural, mecánico, eléctrico y electrónico de cada subsistema. Para ello, se llevan a cabo modelados y simulaciones que permitan evaluar el desempeño del sistema en condiciones operativas reales, asegurando su viabilidad técnica. Además, se realiza una evaluación de la comunicación remota, con el objetivo de validar la efectividad del monitoreo y la transmisión de datos en tiempo real. Posteriormente, se analizan los resultados obtenidos, se discuten sus implicaciones y se elabora un listado detallado de componentes, acompañado de una evaluación de costos para estimar la factibilidad económica del sistema. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, proporcionando una base sólida para futuras implementaciones y mejoras del diseño.



2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Esta sección presenta los principales conceptos para comprender más sobre el desarrollo de esta investigación, abarcando temas como la acuicultura, las truchas, las jaulas flotantes, el monitoreo remoto, la alimentación automática y sistemas de energización. Así mismo, se analiza la información más relevante de investigaciones pasadas relacionadas al tema de esta investigación.

2.1. Marco teórico

Para comprender esta investigación, es fundamental conocer los conceptos clave, desde las características de la trucha arcoíris hasta los principios que rigen el diseño e integración de los subsistemas involucrados.

2.1.1. Truchas

Las truchas arcoíris tienen un cuerpo de forma alargada y fusiforme, cuya coloración depende de la subespecie y entorno. Es una especie dulceacuícola de aguas frías y bien oxigenadas en altitudes superiores a 3 000 m.s.n.m. Su tiempo de crecimiento es de 6 a 8 meses para producir truchas de 250 gramos aproximadamente con una longitud estimada de 20 a 25 cm (Sistema Nacional de Acuicultura, 2022b).

Producción de truchas

La producción de trucha en el Perú ha mostrado un crecimiento constante desde el 2009, alcanzando su mayor volumen de cosecha en 2018. Sin embargo, en 2019, la presencia de vientos fuertes y oleajes anómalos en el Lago Titicaca ocasionó una mortalidad masiva en los cultivos (Sistema Nacional de Acuicultura, 2022b). Según el Sistema Nacional de Acuicultura - SNA (2022b), Puno representaba el 73,64% durante el 2009, en el 2018 representó el 79,09% y en el 2021 representó el 67,89% de cosechas de truchas a nivel nacional en toneladas. Es decir, es la principal región productora de trucha a nivel nacional. La Figura 2 presenta la evolución de la cosecha de trucha en el departamento de Puno entre 2009 y 2021, reflejando las tendencias de producción en la región.

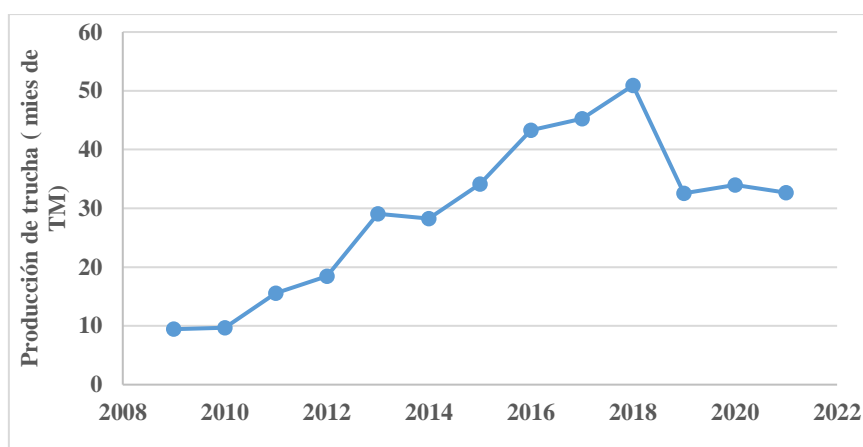


Figura 2. Cosecha de trucha entre 2009-2021 en toneladas

Nota. Tomado de Sistema Nacional de Acuicultura (2022b)

Etapas de cultivo de la trucha arco iris.

Las asociaciones de productores que utilizan jaulas flotantes en el cultivo de trucha arcoíris manejan dos etapas principales: alevinaje II, que comprende ejemplares con tamaños entre 5 cm y 12 cm, y juveniles/engorde, con truchas de 12 cm a 25 cm (Ver Figura 3). La capacidad de las jaulas varía según la etapa de crecimiento, con un máximo de 40,000 alevinos en las jaulas destinadas a esta fase inicial y hasta 20,000 truchas en las jaulas de crecimiento (SNA, 2022).

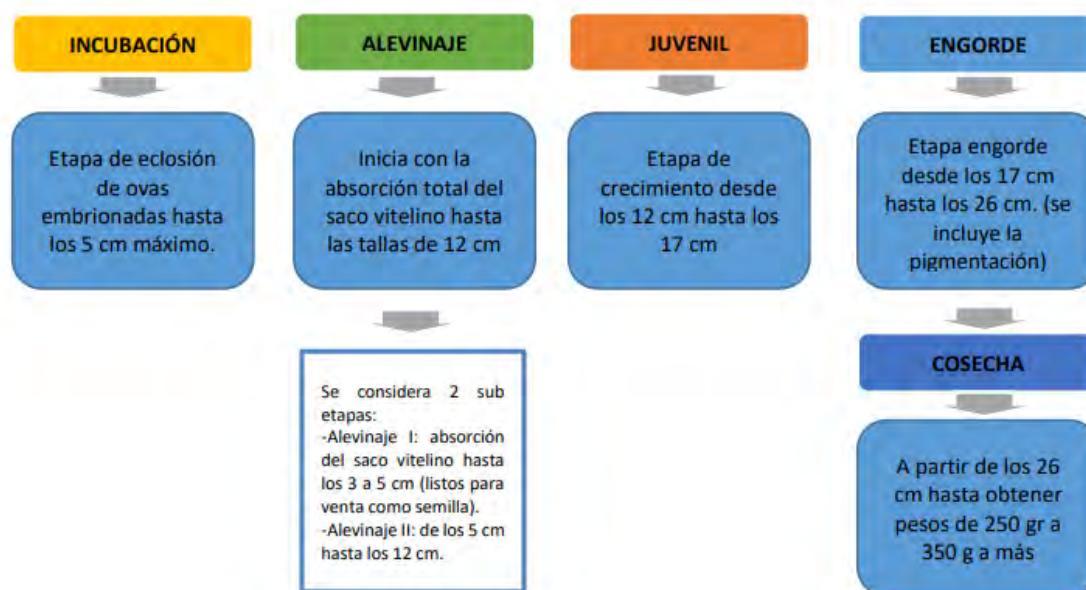


Figura 3. Etapas de cultivo de la trucha arco iris según SNA (2022)

El Proyecto Especial Truchas Titicaca (PETT) suministra a las asociaciones de acuicultores alevinos listos para su traslado a las jaulas flotantes y proporciona capacitación técnica en la fase inicial del proyecto, asegurando una transición adecuada de los alevinos a las jaulas de crecimiento. Además, para garantizar un desarrollo óptimo, es fundamental mantener niveles adecuados de temperatura, oxígeno disuelto y pH, parámetros que influyen directamente en la supervivencia y crecimiento de las truchas en cada etapa del cultivo.

2.1.2. Piscicultura

La piscicultura es la actividad de cultivo de peces en condiciones controladas, permitiendo la optimización de su desarrollo y producción. Entre las distintas técnicas utilizadas, el cultivo en jaulas flotantes se ha consolidado como una de las más eficientes, especialmente en cuerpos de agua que reúnen condiciones adecuadas en términos de caudal, temperatura, pH y oxígeno disuelto (Churata, 2020).

Cultivo en estanques

Existen diversas estructuras para la crianza de truchas, incluyendo estanques de concreto, mampostería de piedra, tierra y estructuras circulares, además de jaulas flotantes. Los estanques de engorde tienen una capacidad aproximada de 99 m³, mientras que los estanques para juveniles poseen un volumen de 40 m³. Estas estructuras cuentan con sistemas hidráulicos que aseguran un flujo continuo de agua, evitando el estancamiento y favoreciendo la oxigenación (SNA, 2022). En contraste, las jaulas flotantes presentan características específicas que se detallan a continuación.

Cultivo en jaulas flotantes

Las jaulas flotantes son estructuras cerradas ubicadas dentro de cuerpos de agua como el Lago Titicaca, diseñadas con un sistema de anclaje y flotación que permite su estabilidad (Ver Figura 4). Estas estructuras facilitan un flujo constante de agua, garantizando la renovación de oxígeno y la retención de los peces en un entorno delimitado (SNA, 2022a).

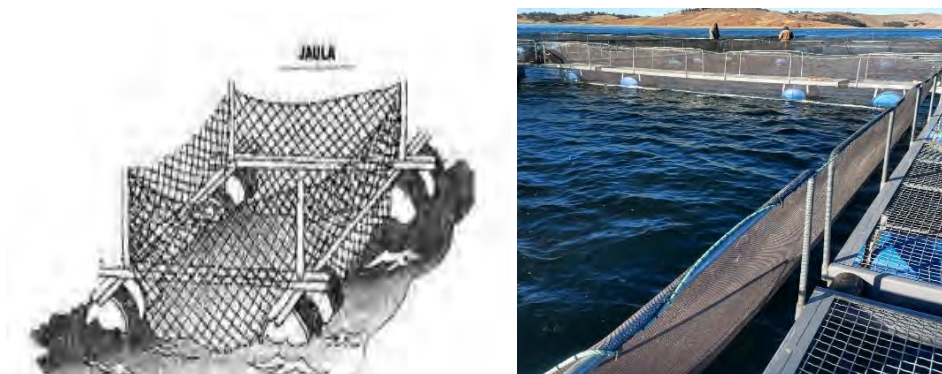


Figura 4. Jaula flotante para truchas arco iris en Puno y fotografía de una jaula flotante instalada

Nota. Tomado de SNA (2022a) y elaboración propia

Las jaulas flotantes utilizadas en el cultivo de trucha presentan dimensiones que varían según la etapa de crecimiento:

- Para truchas en fase de engorde, las jaulas son cuadradas de 10×10 metros y alcanzan una profundidad de 5 metros.
- Para alevinos, las jaulas tienen una superficie de 5×5 metros y una profundidad de 5 metros.

Estas estructuras suelen ubicarse a una distancia de 100 a 150 metros de la orilla más cercana, permitiendo su anclaje seguro y la circulación adecuada del agua (SNA, 2022a).

2.1.3. Calidad del agua

La evaluación de las condiciones para el crecimiento óptimo de la trucha se basa en el análisis de factores fisicoquímicos, los cuales permiten determinar, desde una perspectiva técnica y económica, la idoneidad del entorno acuático para la producción. El monitoreo sistemático de estos parámetros constituye una práctica esencial en toda unidad productiva, y los resultados obtenidos suelen ser validados por especialistas del sector. Según la Autoridad Nacional del Agua (2016), los principales parámetros de campo incluyen la temperatura, el potencial de hidrógeno (pH) y el oxígeno disuelto, los cuales deben ser medidos directamente en el cuerpo de agua, garantizando así una evaluación precisa de las condiciones ambientales.

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es esencial para la respiración de las truchas, ya que es captado a través de sus branquias y permite el mantenimiento de sus funciones metabólicas. Debido a la alta densidad de peces en las jaulas flotantes, es crucial evitar niveles críticos de oxígeno que puedan generar asfixia o estrés fisiológico. Según Churata (2020), los valores recomendados para alevinos es 7 mg/L y 5.5 mg/L para truchas en crecimiento (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Condición de la trucha en función del oxígeno disuelto según FONDEPES (2014)

Oxígeno Disuelto mg/l	0 – 3.0	3.1 -4.5	4.6 – 5.9	6.0 – 8.5
Condición	Muere	Sufre grave estrés	Poco estrés, crecimiento lento	Óptimo desarrollo

Nota. Tomado de Churata (2020)

El oxígeno disuelto disminuye con el aumento de la temperatura y aumenta con la presión atmosférica, lo que implica que su concentración varía en función de la altitud y las condiciones ambientales del ecosistema acuático. Para maximizar la producción, los acuicultores buscan mantener niveles de oxígeno disuelto entre 6.0 y 8.5 mg/L, asegurando así condiciones óptimas de crecimiento para la trucha.

Temperatura

La temperatura del agua influye directamente en el metabolismo y la tasa de crecimiento de las truchas (Ver Tabla 2). Los rangos óptimos de temperatura varían según la etapa de desarrollo:

- Alevinos: Entre 10 °C y 12 °C.
- Truchas en crecimiento: Entre 10 °C y 17 °C.

Temperaturas superiores a 16 °C incrementan el riesgo de enfermedades, mientras que valores fuera del rango óptimo afectan negativamente la tasa de crecimiento (SNA, 2022).

Tabla 2. Condición de la trucha en función de la temperatura según FONDEPES (2014)

Temperatura °C	1 - 3	4 - 8	9 - 14	15 - 17	18 - 20
Condición	Muere	Crecimiento	Crecimiento	Crecimiento	Estrés

lento	óptimo	lento
-------	--------	-------

Nota. Tomado de Churata (2020)

Para asegurar un crecimiento adecuado, los productores buscan mantener una temperatura entre 9 °C y 17 °C, optimizando el metabolismo de las truchas y reduciendo riesgos sanitarios.

Potencial de hidrógeno (pH)

El pH del agua regula el equilibrio iónico y fisiológico de los peces, por lo que su mantenimiento dentro de un rango adecuado es fundamental (Ver Tabla 3). Para la crianza de trucha arcoíris, el pH recomendado se encuentra entre 6.5 y 9.0 (SNA, 2022). Valores extremos pueden ocasionar alteraciones fisiológicas severas, como hemorragias en las branquias cuando el pH es inferior a 6.5, o mortalidad cuando supera los 8.0 (Churata, 2020).

Tabla 3. Condición de la trucha en función del potencial de hidrógeno según FONDEPES (2014)

pH	4.0– 5.0	5.1 -6.5	6.6 – 7.9	8.0 – 10.0
Condición	Estrés grave	Estrés y crecimiento lento	Crecimiento óptimo	Crecimiento lento o muerte

Nota. Tomado de Churata (2020)

Para garantizar condiciones favorables de cultivo, los acuicultores buscan mantener un pH entre 6.6 y 7.9, asegurando así un entorno estable para el desarrollo de la trucha.

2.1.4. Monitoreo

El monitoreo de las condiciones del agua debe realizarse en los puntos donde se desarrolla la actividad acuícola, es decir, en las jaulas destinadas a alevinos y truchas en crecimiento. La ubicación de estos puntos de control debe definirse en función del tamaño de la zona de interés, asegurando una cobertura representativa del área de cultivo. Dado que no existen zonas sin influencia antropogénica, entonces no se cuenta con un punto de referencia. Así mismo, se establecen tres tipos de muestreos según la (Autoridad Nacional del Agua, 2016): muestreo simple, muestreo compuesto y muestreo integrado. Para jaulas flotantes, el monitoreo se enfoca principalmente en mediciones superficiales, ya que estas estructuras no superan los 6 metros de profundidad. Sin embargo, diversos factores pueden afectar la precisión de las mediciones, tales como corrientes superficiales e internas, variaciones estacionales en la cuenca, fuertes vientos y la limitada conectividad a internet en la zona (ANA, 2016).

Equipos de monitoreo

La Autoridad Nacional del Agua (2016) toma en cuenta los siguientes equipos para el monitoreo: GPS, correntómetro, multiparámetro, cámara fotográfica, botellas hidrográficas, brazo muestreador.

Sondas multiparámetricas

Son instrumentos robustos y resistentes a la corrosión que se utilizan para monitorear y almacenar datos de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, pH, entre otros. Son usados para caracterización de acuíferos, calidad de agua de riego, acuicultura, piscifactorías, monitoreo de aguas superficiales (Fonotest S.L., 2022).

Brazo muestreador

Son brazos extensores con una canastilla que ayuda en el muestreo de agua superficiales, son de un material anticorrosivo, brindan una extensión de 2.5 metros. Así mismo, están diseñados para frascos de volúmenes entre 960 ml a 2000 ml y es ajustable a diferentes ángulos (Tech Perú Industrial SAC, 2022)

2.1.5. Monitoreo remoto

El monitoreo remoto es un aspecto clave en este proyecto, ya que permite supervisar las condiciones del agua en las jaulas flotantes desde la orilla, ubicada a aproximadamente 100 metros de distancia. La implementación de un sistema de monitoreo remoto ofrece varias ventajas, entre ellas:

- Accesibilidad, al permitir la recopilación de datos en tiempo real mediante una red WiFi.
- Seguridad, al reducir la necesidad de desplazamientos constantes a las jaulas, lo que minimiza la exposición a condiciones climáticas adversas.
- Flexibilidad, ya que permite la supervisión del sistema sin requerir presencia física constante.
- Alertas automatizadas, proporcionando notificaciones al usuario en caso de variaciones críticas en los parámetros del agua (Omega, s/f).

El uso de tecnologías de monitoreo remoto contribuirá significativamente a la optimización de la gestión acuícola, permitiendo un seguimiento eficiente y en tiempo real de las condiciones ambientales en las jaulas flotantes.

2.1.6. Alimentación de truchas

La trucha es una especie carnívora cuya dieta, en estado natural, se basa en el consumo de insectos, camarones, renacuajos, gusanos y otros organismos acuáticos. En sistemas de cultivo, su alimentación es controlada y balanceada, proporcionando los requerimientos nutricionales específicos según la etapa de crecimiento y el peso de los peces.

En jaulas flotantes, la cantidad de alimento suministrado está determinada por tres factores clave:

- Biomasa total de la jaula (cantidad de peces y su peso promedio).
- Horario de alimentación (frecuencia y distribución de las raciones).
- Condiciones del agua, particularmente la temperatura y el oxígeno disuelto, que afectan la tasa metabólica de los peces.

Por ejemplo, para una trucha con 26 cm de longitud y en un ambiente con una temperatura de 11 °C, se le brinda 1.08 kg por cada 100 kg de peces en un día, verificable en la Tabla 4 (Sistema Nacional de Acuicultura, 2022b).

Tabla 4. Alimentación en kg de alimento por 100 kg de peces en un día según su longitud y temperatura del agua.

	Talla	Temperatura del agua (°C)					
		10	11	12	13	14	15
Longitud del pez (cm)	12	1.86	2.13	2.39	2.66	2.92	3.19
	13	1.82	2.08	2.33	2.59	2.85	3.11
	14	1.77	2.02	2.27	2.52	2.77	3.02
	15	1.65	1.88	2.12	2.35	2.68	2.82
	16	1.54	1.76	1.98	2.2	2.42	2.64
	17	1.45	1.66	1.86	2.07	2.28	2.48
	18	1.37	1.57	1.76	1.95	2.15	2.34
	19	1.3	1.48	1.67	1.85	2.04	2.22
	20	1.23	1.41	1.58	1.76	1.93	2.11
	21	1.17	1.34	1.51	1.67	1.84	2.01
	22	1.12	1.28	1.44	1.6	1.76	1.92
	23	1.07	1.22	1.38	1.53	1.68	1.83

24	1.03	1.17	1.32	1.46	1.61	1.75
25	0.99	1.12	1.26	1.4	1.54	1.68
26	0.95	1.08	1.22	1.35	1.48	1.62

Nota. Tomado de Sistema Nacional de Acuicultura (2022b).

A partir de esta tabla, es posible establecer el rango de longitud del pez y la temperatura del agua para calcular con precisión la cantidad de alimento óptima por jaula flotante, garantizando así una alimentación eficiente y ajustada a la biomasa de cada unidad productiva.

Alimento procesado para truchas

Según la entrevista realizada con el cliente, se determinó que el alimento utilizado en el cultivo de trucha proviene de la empresa AQUATECH. Esta empresa ofrece diferentes tipos de alimento en función del sistema de producción, entre los cuales se encuentran: raceways flotantes, lagunas lento hundimiento, smart alta energía. Para el presente estudio, el alimento seleccionado corresponde a la categoría de "lagunas de lento hundimiento", diseñado específicamente para truchas con un peso entre 90 g y 250 g. Este alimento se presenta en forma de pellets cilíndricos de 6 mm de longitud y 6 mm de diámetro (AQUATECH, s/f).

Características del alimento

Dado que no se cuenta con acceso directo a productos de AQUATECH, se empleó la información proporcionada por la empresa, complementada con imágenes referenciales y consultas adicionales sobre la densidad del alimento con el fin de dimensionar adecuadamente la tolva del sistema de alimentación automática (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Tabla de alimentación en kg de alimento por 100 kg de peces en un día según su longitud y temperatura del agua.

Producto AQUATECH	Nombre	Calibre del Pellet (mm)	Peso del Pez (gr.)	Etapas de crianza
Peces 55 SSL	Pre inicio I y II	0.3 x0.8/0.5x1	Hasta 1.0	Post larva
Peces 50 SSL	Inicio I	0.8x1.3	1 a 2.5	Alevino I
Peces 45 SSL	Inicio II	1.3x2.0	2.5 a 10	Alevino II

Peces 42 RW, SMART LH y AE	Crecimiento I	2.5x2.5	10 a 30	Juvenil I
Peces 42 RW, SMART LH y AE	Crecimiento II	4.0x4.0	30 a 90	Juvenil II
Peces 40 RW, SMART LH y AE	Engorde	6.0x6.0	90 a 250	Comercial I
Peces 40 SMART LH	Engorde	8.0x8.0	250 a más	Comercial II

Nota. Tomado de AQUATECH (s/f)

El alimento procesado presenta una forma cilíndrica con dimensiones de 6 mm × 6 mm y una densidad promedio entre 750 kg/m³ y 1000 kg/m³ (Ver Figura 5). Esta información es fundamental para el diseño del sistema de dosificación, asegurando una alimentación precisa y eficiente dentro de las jaulas flotantes (AQUATECH, s/f).



Figura 5. Forma del alimento para truchas de AQUATECH

Nota. Tomado de AQUATECH (s/f).

2.1.7. Alimentación automática

El sistema de alimentación automática para truchas debe contar con tres componentes principales: Tolva o contenedor de alimento con capacidad para almacenar entre 80 y 120 kg de pellets, Sistema de dosificación encargado de medir la cantidad de alimento suministrada, mecanismo de distribución que regula la salida del alimento y garantiza una dispersión uniforme (Pinto y Sánchez, 2006).

Existen diferentes métodos de dosificación, clasificados en dosificadores por peso y dosificadores volumétricos. Los dosificadores por peso incluyen técnicas como el método de aproximaciones y el método estadístico, mientras que los dosificadores volumétricos pueden ser de líquidos, de bomba, de tornillo sin fin y de vasos telescópicos (Pinto y Sánchez, 2006).

Dosificadores por peso

Este tipo de dosificador es más adecuado para productos heterogéneos que no permiten una dosificación en cantidades iguales, esto suele usarse para snacks de forma de montura de caballo u otras formas. Además, se suele tener menor porcentaje de error en peso neto respecto a los dosificadores volumétricos dependiendo del contexto. Se suele usar principalmente una celda de carga y un sistema de control (Pinto y Sánchez, 2006).

Método de aproximaciones

Este método necesita que la balanza vaya verificando la diferencia entre el peso requerido y el producto que va midiendo con un sistema para dejar de recibir más alimento en esta sección dedicada al pesado. Además de ello, requiere que se tenga un sistema de control PID y siempre tener en cuenta que el peso final será una aproximación.

Dosificadores volumétricos

Los dosificadores volumétricos se emplean cuando los productos a dosificar son homogéneos en características físicas como forma, tamaño, peso y composición química. Son ampliamente utilizados en el procesamiento de cereales, pellets y granos, donde la uniformidad del producto permite una dosificación precisa sin necesidad de pesaje (Pinto y Sánchez, 2006).

Dosificador de tornillo sin fin

Este tipo de dosificador suele utilizarse para harinas y polvos granulados como pastas o pellets. Entre las partes básicas que lo componen son: mecanismo de accionamiento, tolva, tubo dosificador, embudo de caída, tornillo sin fin. La cantidad de alimento suministrada se determina mediante el número de revoluciones y la velocidad de giro del tornillo sin fin, lo que permite un control preciso del flujo de alimento en función de los requerimientos nutricionales de las truchas (Pinto y Sánchez, 2006).

2.1.8. Fuentes de energización

En entornos donde no se dispone de acceso directo a la red eléctrica convencional, como en el distrito de Conima, se requiere el uso de sistemas de generación autónoma de energía. Entre las opciones más utilizadas para la electrificación de sistemas aislados se encuentran la energía solar fotovoltaica, la energía eólica y la generación a partir del movimiento de las olas. Para el presente estudio, se priorizará el análisis de los sistemas fotovoltaicos, debido a su viabilidad técnica y operativa en el contexto de jaulas flotantes.

Sistema fotovoltaico

El sistema de generación solar fotovoltaica está compuesto por tres elementos fundamentales: un panel solar, encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía eléctrica; un controlador de carga, que regula la energía generada y protege la batería ante sobrecargas o descargas excesivas; y una batería, utilizada para el almacenamiento de la energía generada, permitiendo el suministro eléctrico en períodos sin radiación solar (Autosolar, s/f).

Existen diferentes configuraciones de sistemas fotovoltaicos según su voltaje y capacidad de generación. Los sistemas de 12 V, con potencias que oscilan entre 250 W y 2000 W, suelen emplearse para la carga de dispositivos electrónicos de baja demanda, como celulares, laptops y pequeños frigoríficos. Por otro lado, los sistemas de 24 V, con potencias entre 2000 W y 5000 W, se utilizan en aplicaciones con un mayor consumo energético, como la electrificación de viviendas de uso intermitente. También existen sistemas de mayor voltaje y potencia, diseñados para aplicaciones industriales o de alto consumo (Autosolar, s/f).

2.2. Estado del arte

El estado del arte comprende el análisis de máquinas comerciales, patentes, tesis y artículos científicos relevantes en el ámbito del monitoreo y automatización de la acuicultura. Esta revisión permite identificar avances previos en tecnologías similares, con el objetivo de integrar enfoques existentes a esta investigación.

2.2.1. Máquinas comerciales existentes

Multiparámetro Hanna Instruments HI98194

Entre las diversas opciones de sondas multiparámetro, el modelo Hanna Instruments HI98194 destaca por sus especificaciones técnicas:

- Para medir temperatura tienen una precisión de ± 0.15 °C, una resolución de 0.01°C y un rango de -5.00 hasta 55.00 °C
- Para medir el pH tiene una precisión de ± 0.02 pH, una resolución de 0.01 pH y un rango de 0.00 a 14.00 pH.
- Para medir oxígeno disuelto tiene una precisión de + 1.5% de la lectura entre 0.00 y 30.00 mg/L mientras que entre 30.00 y 50.00 mg/L tiene una precisión de +3% de la lectura. La resolución es de 0.01 mg/L y tiene un rango entre 0.00 y 50.00 mg/L (Hanna Instruments, 2020).

Cabe destacar que este dispositivo es el de mayor costo entre las opciones evaluadas y, debido a su alta precisión, se emplea principalmente para la verificación y calibración de otros sensores (Ver Figura 6).



Figura 6. Sonda multiparámetro HI98194

Nota. Tomado de Hanna Instruments (2020).

Sistema de alimentación automática para camarón

Se tienen alimentadores automáticos Bluesensor (Ver Figura 7) para cultivos extensivos e intensivos; por su lado los cultivos extensivos se tienen las siguientes características (Bluesensor, 2022).

- Hasta 360 dosis por día
- Hasta 18 metros de radio
- Alimentación basada en oxígeno disuelto y temperatura
- Geolocalización
- Alimentador solar

- Monitoreo remoto preventivo (Bluesensor, 2022).



Figura 7. Alimentador automático para camarones

Nota. Tomado de Bluesensor (2022)

Este producto se encuentra diseñado para estanques o lagunas tranquilas en Ecuador. Así mismo, se observa que este producto tiene la misma orientación con la idea del diseño de esta investigación. Aunque esta imagen referencial e información en la web del vendedor no se explica cómo volver a llenar el contenedor y no da especificaciones de este producto como el material o dimensiones.

Alimentador sobre rieles

El alimentador puede unirse a rieles para moverse dentro del espacio destinado a la crianza, esto permite que el alimento se reparta de mejor manera. Los dosificadores circulan por el riel (Ver Figura 8). Entre las ventajas de este alimentador es el ahorro de mano de obra, cuenta con un software centralizado para la gestión del alimentador de Fish Farm Feeder (FFF).



Figura 8. Alimentador automático sobre rieles

Nota. Tomado de FFF (2022).

La desventaja es que requiere una alta inversión inicial e instalar los rieles, requiere mayor mantenimiento y la alimentación para pocas dosis (Fish Farm Feeder, 2022). Entonces dependiendo del ambiente donde se instale se puede instalar los rieles, suele usarse para ambientes cerrados y requieren estar conectados a fuentes eléctricas considerables. Este tipo de mecanismo transporta el lugar donde se tiene el alimento y sigue una trayectoria bien definida; esto puede controlarse desde un componente centralizado. Por su disposición tiene menor capacidad de almacenamiento que otras de la misma empresa (FFF).

Alimentador centralizado neumático

Fish Farm Feeder (2022), también propone tener un alimentador central y llevar a dar el alimento a las truchas de diferentes jaulas o estanques con tuberías como se ve en la Figura 9.



Figura 9. Alimentador automático centralizado

Nota. Tomado de FFF (2022)

Esta opción tiene como desventaja la alta inversión y la instalación de las tuberías, entre las ventajas es el ahorro de mano de obra y el software centralizado. Se permite mezclar el alimento antes de distribuirlo (Fish Farm Feeder, 2022). Este sistema de alimentación es útil para distribuir alimento a más de un entorno donde se criar a la especie de interés, la capacidad de almacenamiento es mucho más grande que otras propuestas dada la lógica de funcionamiento de este producto. Así mismo, requiere estar conectado a red eléctrica y está diseñado para lagunas artificiales o estanques.

2.2.2. Patentes existentes

Alimentador de peces automático US3231314A

Esta patente está registrada como US3231314A (Ver Figura 10) en Estados Unidos y tiene un estado de expirado, con lo cual se puede usar como inspiración para usar el modelo planteado. El creador es Walter Cook y se registró la solicitud en el 1963.

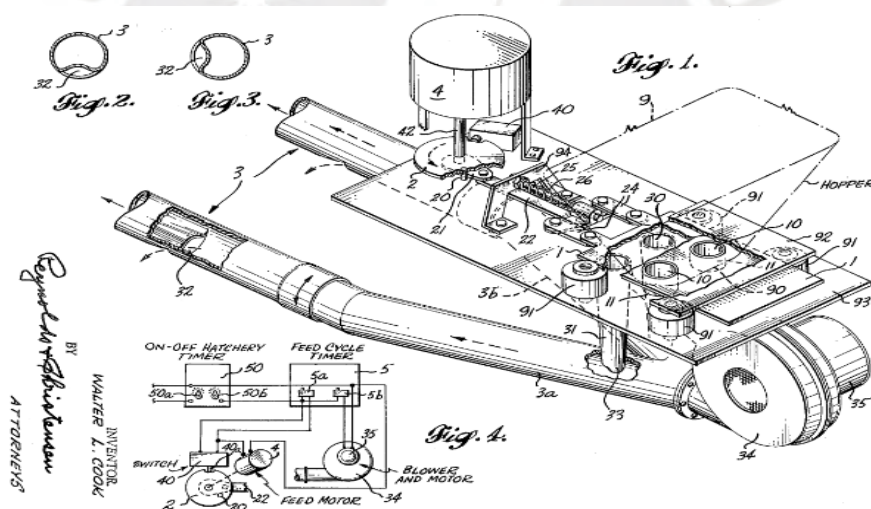


Figura 10. Bosquejo de la patente US3231314A

Nota. Tomado de Walter Cook (1966)

Este diseño combina una tolva de suministro para alimento seco para pescados y materiales triturados, tiene una salida inferior, un mecanismo distribuidor que incluye un miembro de cierre estacionado horizontal y una abertura compensada lateral. Además, se tiene un registro de la apertura y combina un soplador con los conductos para generar cierta succión (Cook, 1966).

Alimentador de peces automático US6082299A

Esta patente está registrada como US6082299A (Ver Figura 11) en Estados Unidos y tiene como objetivo su difusión para abaratar costos y tiempo de fabricación. El creador es Halford y se publicó en el año 2000.

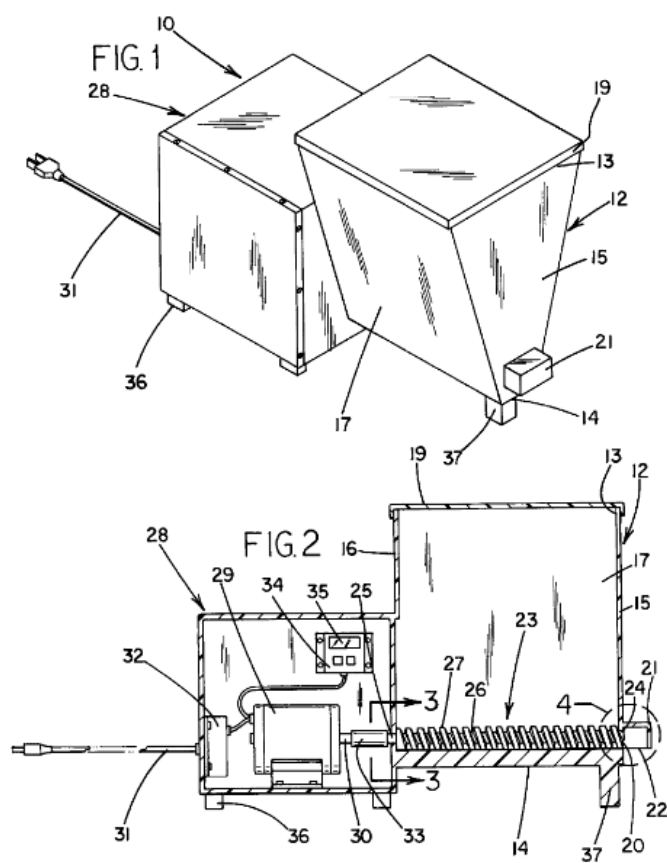


Figura 11. Bosquejo del alimentador creado por Halford

Nota. Tomado de Halford (2000).

Cuenta con un tornillo sinfín que gira para mover el alimento hacia una apertura inferior, tiene un interruptor, un temporizador y control para el motor. Este diseño tuvo como objetivo, la mayor facilidad de fabricación y mayor comercialización de este tipo de comederos automáticos. Entonces, se tuvo en cuenta un bajo costo de fabricación y mano obra (Halford, 2000).

2.2.3. Tesis existentes

En 2020, se desarrolló un prototipo para el monitoreo de la calidad del agua en el criadero de truchas PISPERÚ (Ver Figura 12), ubicado en el distrito de Santa Lucía, Puno, Perú, a una altitud de 4025 m.s.n.m.. Este sistema fue diseñado para operar en jaulas flotantes en la Laguna Lagunillas, la cual posee una superficie máxima de 66 km² y presenta dinámicas de movimiento del agua distintas a las del Lago Titicaca. La investigación consideró parámetros clave como temperatura, pH y turbidez, los cuales, según Churata (2020) permiten evaluar de manera efectiva la calidad del agua en sistemas de cultivo acuícola.

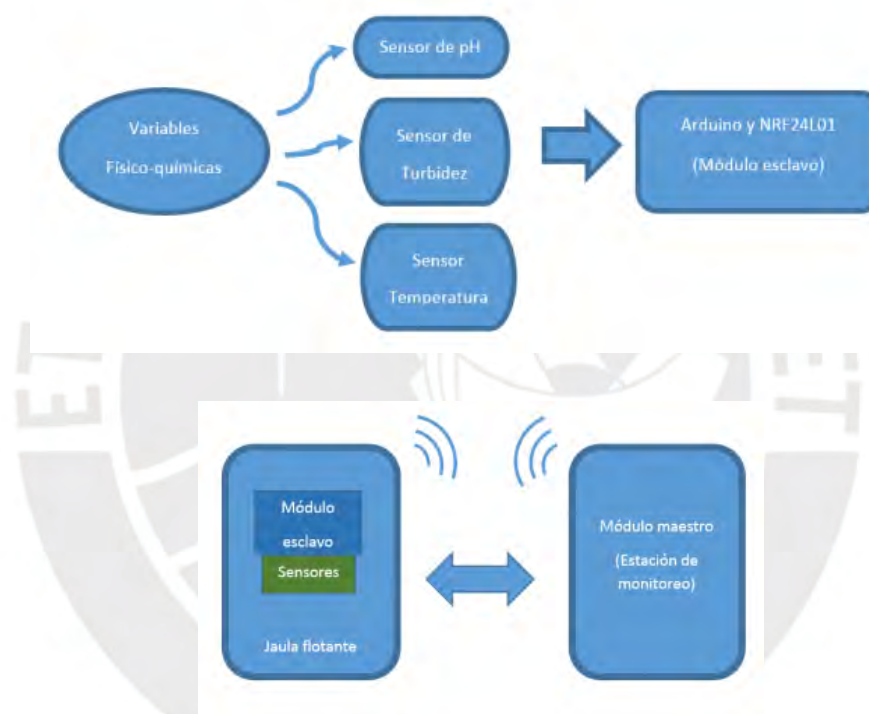


Figura 12. Diagrama de funcionamiento general de sistema de monitoreo

Nota. Tomado de Churata (2020)

El sistema utilizó una placa Arduino Nano, junto con un módulo NRF24L01, una pantalla LCD, un panel solar y una batería de iones de litio para garantizar su autonomía. Se integraron sensores específicos, incluyendo el SEN0161 para la medición de pH, con una precisión de ± 0.1 pH; el SEN0189 para turbidez, con un tiempo de respuesta inferior a 0.5 s; y el DS18B20 para temperatura, con una precisión de ± 0.5 °C en un rango de -10 °C a 85 °C. Además, el sistema incorporó un radioenlace punto a punto y herramientas de georreferenciación mediante Google Earth (Churata, 2020).

2.2.4. Artículos científicos

En 2018, se desarrolló un sistema de monitoreo remoto para acuicultura en estanques de camarones en la provincia de Parinacota, Arica y Parinacota, Chile, a una altitud de 4430 m.s.n.m. (Ver Figura 13). Este proyecto fue diseñado para infraestructuras de estanques de camarones y utilizó un sistema basado en controladores lógicos programables (PLC) y una red inalámbrica Zigbee para la medición de variables ambientales. Los sensores empleados permitieron monitorear oxígeno disuelto, pH, temperatura, humedad y presión (Flores y Aracena, 2018).

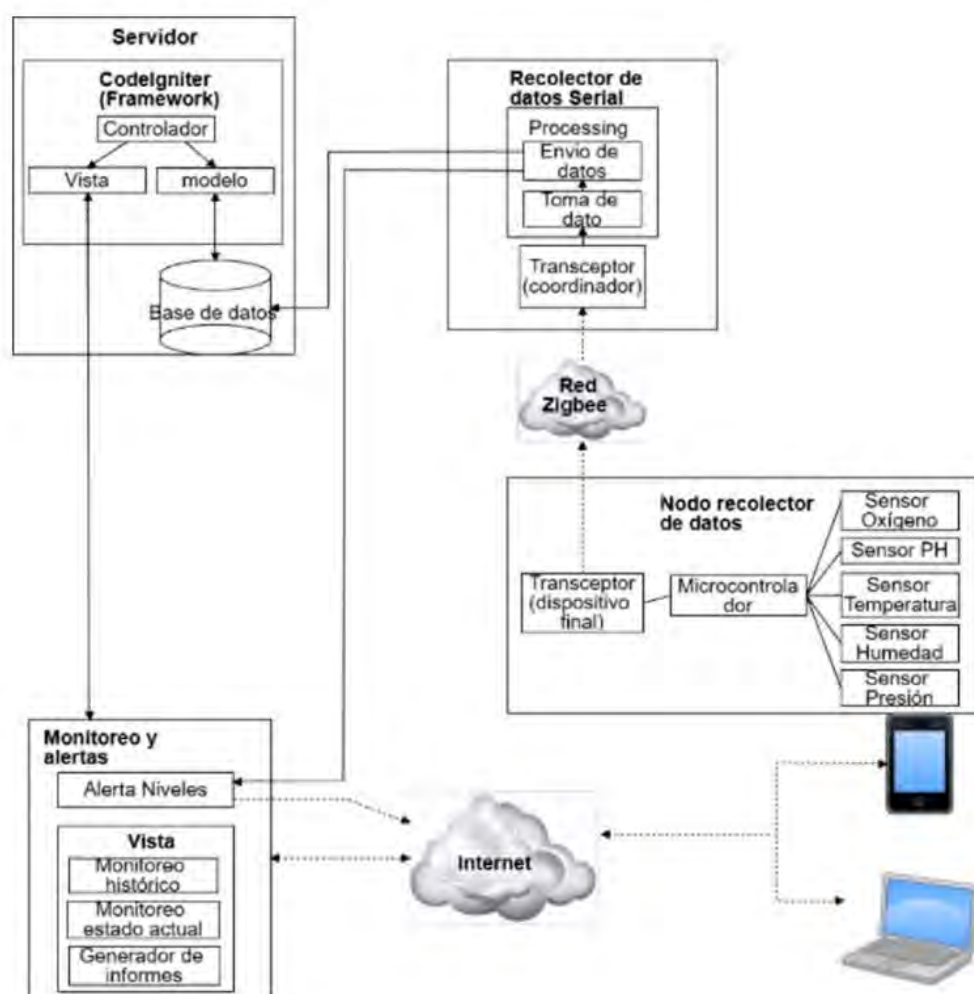


Figura 13. Arquitectura del sistema de monitoreo para estanques de camarones

Nota. Tomado de Flores y Aracena (2018).

El sistema integró el sensor SEN0161 para pH, el DS18B20 para temperatura y el Atlas Scientific para oxígeno disuelto. Las pruebas realizadas con estos sensores determinaron que el sensor de temperatura presentó un error estimado de ± 0.9 °C, el sensor de oxígeno disuelto tuvo un error de ± 0.02 mg/L, mientras que el sensor de pH mostró un error de ± 2 pH. Debido a esta imprecisión, los investigadores concluyeron que el SEN0161 no era adecuado para este tipo de aplicación (Flores y Aracena, 2018).

El segundo artículo revisado en el estado del arte corresponde al desarrollo de un prototipo de monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón, llevado a cabo en la ciudad de Colima, Colima, México, a una altitud de 570 m.s.n.m. (Ver Figura 14). Este sistema fue implementado en estanques de camarones con una capacidad de producción de 1892 kg, permitiendo la medición en tiempo real de temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad (Olivo-Gutiérrez et al., 2018).

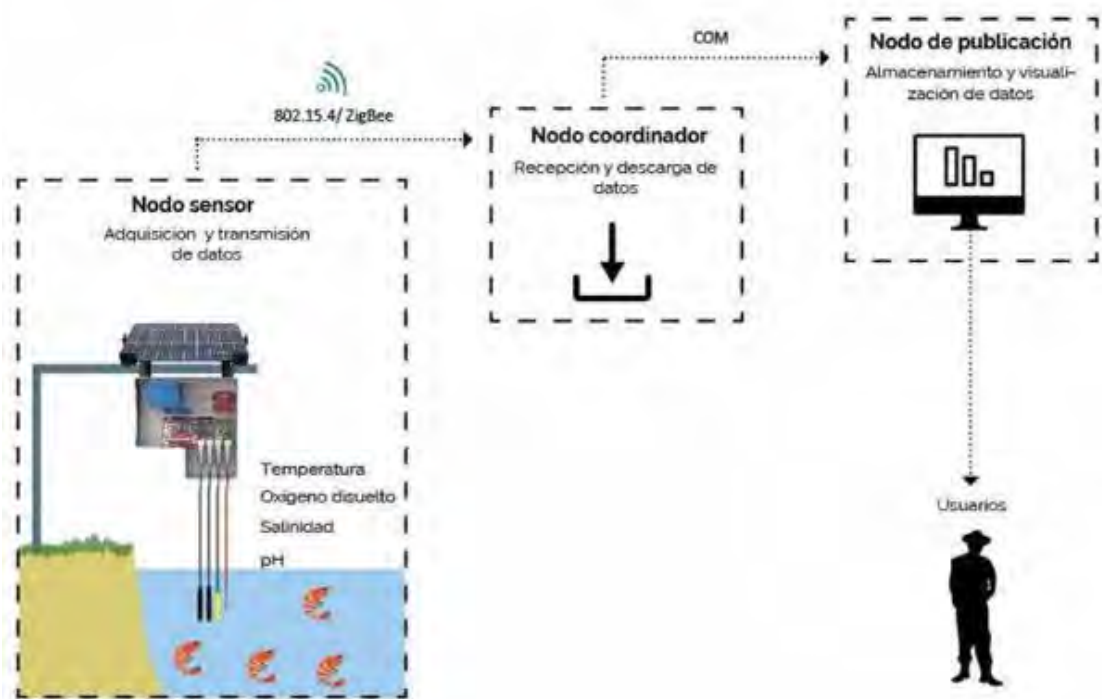


Figura 14. Descripción general de los módulos del sistema para granjas de camarones

Nota. Tomado de Olivo-Gutiérrez et al. (2018).

El sistema desarrollado incorporó módulos para la lectura y transmisión de datos mediante una red inalámbrica, permitiendo la visualización y almacenamiento de los valores monitoreados. Se

diseñaron tres tipos de nodos: nodos multiparámetro, encargados de la medición de las variables ambientales; nodos de enrutamiento, responsables de la comunicación entre sensores; y un centro de monitoreo in situ, desde donde se gestionaban los datos de manera remota. Además, el sistema incluía un mecanismo de control automatizado para la activación de aireadores, en función de las condiciones ambientales registradas (Olivo-Gutiérrez et al., 2018).

Los sensores empleados presentaron altos niveles de precisión. El sensor de oxígeno disuelto operaba en un rango de 0.01 a 35.99 mg/L, con una precisión de ± 0.05 mg/L. El sensor de pH tenía un rango de 0 a 14 y una precisión de ± 0.0002 . En el caso de la temperatura, el sensor utilizado cubría un rango de -200 °C a 850 °C, con una precisión de $\pm(0.15 + 0.002*t)$ °C. Para garantizar la autonomía del sistema, se utilizó una combinación de baterías de litio recargables y un panel solar (Olivo-Gutiérrez et al., 2018)

El tercer artículo revisado en el estado del arte presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo para cultivo de tilapia en una granja piscícola, enfocado en la etapa de engorde de alevinos en estanques. Este sistema fue implementado en la granja piscícola Mamá Lombriz, ubicada en la ciudad de Popayán, Cauca, Colombia, a una altitud de 1693 m.s.n.m., donde cada estanque contenía entre 1800 y 3000 alevinos (Ver Figura 15). Los parámetros monitoreados incluyeron temperatura, oxígeno disuelto, pH y amoníaco, permitiendo, a partir de los valores de temperatura y oxígeno disuelto, determinar la saturación de oxígeno en el agua (Plazas y Paz, 2019).

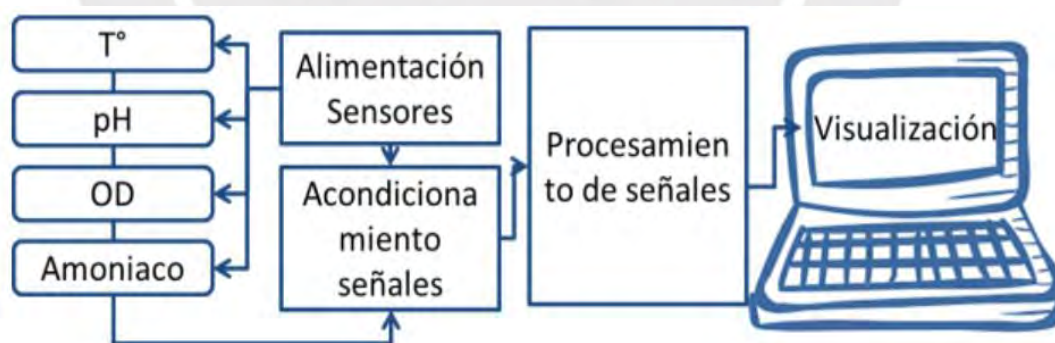


Figura 15. Diagrama general del prototipo de monitoreo de calidad de agua

Nota. Tomado de Plazas y Paz (2019).

El sistema incorporó sensores específicos para cada parámetro monitoreado. Para la temperatura, se utilizó un sensor PT100, con un rango de -70 °C a 260 °C y una precisión de ± 0.3 °C, el cual fue acondicionado mediante un puente de Wheatstone para mejorar la precisión de las

mediciones. La medición del pH se realizó a través de un electrodo especializado, cuyo acondicionamiento incluyó el uso de amplificadores operacionales en cascada. Para el oxígeno disuelto, se empleó una sonda galvánica, junto con un sensor ENV-40-DO, capaz de operar en un rango de 0 a 100 mg/L y con un tiempo de respuesta de 0.3 ppm/s (Plazas y Paz, 2019).

El sistema de monitoreo fue complementado con una interfaz de usuario sencilla e intuitiva, adaptada a usuarios sin formación técnica especializada. Además, en el estanque de prueba se instalaron motores para oxigenar el agua, calentadores para regular la temperatura y el oxígeno disuelto, así como químicos aprobados por el Ministerio, destinados al control del pH y los niveles de amoníaco en el agua (Plazas y Paz, 2019).

2.2.5. Tabla comparativa para el subsistema de monitoreo

Entre los diferentes prototipos analizados, se plantean diferentes sensores para diferentes especies considerando diferentes parámetros y tipo de infraestructura. Los sensores utilizados tienen diferentes precisiones y rangos (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de prototipos según la especie que monitorean y otras características de los parámetros monitoreados

Producto	Especie y función	Tipo de ambiente donde se usa	Parámetros monitoreados	Rango y precisión del monitoreo
Prototipo de monitoreo para PISPERÚ	Trucha arco iris, monitoreo	Jaulas flotantes a 4025 m.s.n.m	Temperatura, pH, turbidez	± 0.1 pH entre 0.0 a 14.0 pH ± 0.5 °C entre -10.0 °C y 85.0 °C
Monitoreo remoto para crianza de camarones en Chile	Camarones, monitoreo	Estanques a 4430 m.s.n.m	Temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD)	± 0.5 °C ± 0.02 mg/l de OD ± 1 pH
Prototipo de monitoreo automatizado en México	Camarones, monitoreo	Estanque a 570 m.s.n.m	Temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad	± 0.05 mg/l entre 0.01 a 35.99 mg/l de OD ± 0.0002 entre 0 a 14

				pH $\pm (0.15 + 0.002*t) \text{ }^\circ\text{C}$ entre $-200 \text{ }^\circ\text{C}$ a $850 \text{ }^\circ\text{C}$
Monitoreo de tilapia en granjas de Cauca	Tilapia, monitoreo	Estanques a 1693 m.s.n.m	Temperatura, oxígeno disuelto, amoniac y pH	$\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ entre $-70 \text{ }^\circ\text{C}$ a $260 \text{ }^\circ\text{C}$ 0 y 100 mg/L de OD
Hanna Instruments HI98194	Toda clase de especie cultivadas, monitoreo	Estanque o jaula flotante	Temperatura, pH, oxígeno disuelto y 11 parámetros más	$\pm 0.15 \text{ }^\circ\text{C}$ entre -5.00 a $55.00 \text{ }^\circ\text{C}$ ± 0.02 pH de 0.00 a 14.00 pH. + 1.5% de la lectura entre 0.00 y 30.00 mg/L

Nota. Elaboración propia

El Hanna Instruments HI98194 es el dispositivo con mayor versatilidad y precisión, sin embargo, su alto costo lo hace menos accesible para aplicaciones a gran escala. Su uso suele estar limitado a la calibración y validación de otros sensores más económicos. Entre los prototipos analizados, los sensores del sistema desarrollado en México presentan la mayor precisión de medición, lo que resulta ideal para entornos donde se requiere alta exactitud en el monitoreo de calidad del agua. No obstante, los sensores utilizados en el prototipo de Chile ofrecen un equilibrio entre costo y precisión, lo que los hace una opción viable para la presente investigación. Además, se han considerado productos comerciales de alimentadores automáticos para acuicultura que incluyen funciones de monitoreo, con el objetivo de evaluar su posible integración en el sistema propuesto.

2.2.6. Tabla comparativa para subsistema de alimentación

Entre las diferentes propuestas analizados para lograr el subsistema de alimentación se tiene la siguiente tabla que compara el rango de dispersión del alimento, el tipo de ambiente donde suele usarse, la energización que requiere, la ventaja de la máquina y la capacidad de almacenamiento (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Comparación de prototipos según la especie que monitorean y otras características de los parámetros monitoreados

Producto	Rango de dispersión	Tipo de ambiente donde se usa	Energización usada	Ventaja	Capacidad de almacenamiento
Alimentador Bluesensor	Hasta 18 metros de radio	Estanque o laguna artificial para camarones	Alimentador solar	Cuenta con monitoreo remoto de temperatura y oxígeno disuelto	Hasta 5 kilogramos por hora y hasta 360 dosis por día
Alimentador sobre rieles de FFF	Depende de las rieles	Estanques o ambientes cerrados	Conexión a red eléctrica	Ahorro de mano de obra y software centralizado	No menciona
Alimentador centralizado neumático de FFF	Depende de donde se ubique el almacén	Estanques o lagunas artificiales	Conexión a red eléctrica	Software y ubicación de almacenamiento centralizados	No menciona
Alimentador automático de Halford	Menor a un metro, por la compuerta de salida	Uso doméstico	Conexión a red eléctrica de 240 V AC	Diseño para uso doméstico: compacto y barato	No menciona

Nota. Elaboración propia

Entre las opciones analizadas, el alimentador Bluesensor es el que mejor se alinea con los objetivos del proyecto, ya que presenta un rango de dispersión de hasta 18 metros, funciona con energía solar, tiene una gran capacidad de dispensación de alimento y cuenta con un sistema de monitoreo remoto de temperatura y oxígeno disuelto. Estas características hacen que su tecnología sea adaptable a las condiciones del Lago Titicaca, permitiendo extraer elementos clave para el diseño del sistema propuesto. Por otro lado, se observa que el tamaño y capacidad de los alimentadores varía según el uso final. Mientras que los modelos diseñados para estanques y lagunas artificiales ofrecen soluciones a gran escala, los alimentadores domésticos, como el de Halford, presentan un diseño más compacto y económico, aunque con menor alcance y funcionalidad.

2.3. Requisitos por normas o regulaciones

El diseño e implementación del sistema de monitoreo y alimentación automatizada debe cumplir con los lineamientos establecidos en el Decreto Supremo N° 012-2019-PRODUCE, la Resolución Ministerial N° 168-2007-PRODUCE y sus modificatorias, emitidas por las autoridades competentes. Además, los formatos de registro de los parámetros de calidad del agua para los Centros de Producción Acuícola (CPA) están regulados por el Sistema Nacional de Acuicultura (SNA, 2022), lo que implica que cualquier sistema automatizado debe integrarse dentro de estos estándares para garantizar su aceptación y aplicabilidad en el sector acuícola.

Desde una perspectiva de ingeniería mecatrónica, los sensores seleccionados deben cumplir con una precisión adecuada para garantizar mediciones confiables dentro de los rangos permisibles de calidad del agua para la crianza de trucha, establecidos por el Sistema Nacional de Acuicultura (Ver Tabla 8):

Tabla 8. Rangos de los principales parámetros de agua de cultivo para la crianza de trucha

PARÁMETRO	RANGO	
TEMPERATURA (°C)	Alevinos	10 °C-12 °C
	Crecimiento	10°C -17 °C
OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	Alevino	Mayor a 7 mg/L
	Crecimiento	Mayor a 5.5 mg/L
pH	6.5-9	
Amonio (mg/L NH ₃)	Menor a 0.02	
Dureza total CaCO ₃ (mg)	Mayor a 200 mg/L	
Dióxido de carbono (mg/L)	Menor a 10 mg/L	

Nota. SNA (2022)

Así mismo, el diseño mecánico del sistema debe cumplir con las normas de resistencia estructural y protección anticorrosiva, garantizando que los materiales seleccionados sean adecuados para su operación en entornos acuáticos. En este sentido, el uso de acero galvanizado para estructuras sumergidas y polímeros de alta resistencia para flotadores contribuirá a la durabilidad y seguridad del sistema.

En cuanto a la integración de sensores y componentes electrónicos, se debe asegurar un adecuado nivel de protección contra la humedad y la corrosión, lo que implica el cumplimiento de estándares como IEC 60529, que regula los grados de protección IP (Ingress Protection). Dado el ambiente altamente expuesto a la intemperie y el contacto directo con agua, los sensores, controladores y actuadores del sistema deben contar con un grado de protección mínimo de IP65, lo que garantiza resistencia al polvo y a chorros de agua de baja presión. Para componentes expuestos a inmersión parcial o continua, se recomienda un grado IP67 o superior, asegurando protección contra la penetración de agua en condiciones de operación exigentes (International Electrotechnical Commission, 2001).

Por otro lado, la instalación y transporte de los componentes dependerá de la clasificación del sistema dentro de las normativas de seguridad en maquinaria y automatización, lo que podría requerir la obtención de permisos específicos en función del peso, dimensiones y nivel de automatización del equipo.

2.4. Determinación de los requisitos del proyecto

La definición de los requisitos del sistema se basa en las necesidades y expectativas de los usuarios finales, entendidos como las organizaciones y asociaciones dedicadas a la crianza de truchas en jaulas flotantes. Estos clientes están interesados en un sistema automatizado que permita el monitoreo continuo de la calidad del agua y la optimización del proceso de alimentación, utilizando para ello energías renovables. Por lo tanto, resulta fundamental integrar su perspectiva en la determinación de los requisitos del usuario y los requisitos técnicos del proyecto.

Los principales clientes identificados incluyen a la Asociación de Productores y Crianza de Truchas “Brisas de Mallico” Sucuni, la Asociación de Criadores de Trucha Andina de la Comunidad de Chipcoconi-Marcayoka, la Asociación de Productores de la Isla de San Pedro de Juspique, así como otras cinco asociaciones adicionales ubicadas en la provincia de Moho, región que presenta condiciones acuícolas similares al distrito de Conima, donde se desarrolla la investigación. No obstante, debido a restricciones logísticas, solo se logró realizar una entrevista con la Asociación de Sucuni, cuyas respuestas fueron utilizadas como referencia para la formulación de los requerimientos del sistema. Por esta razón, dicha asociación es considerada el cliente principal de la presente investigación.

A partir del análisis de los datos recopilados (ver Anexo 4), se han identificado dos tipos de requisitos en el proyecto:

Requisitos opcionales (deseos más que necesidades técnicas), entre los que se incluyen:

- Reporte automatizado de fallas en componentes eléctricos o mecánicos.
- Diseño con bajo nivel de ruido.
- Uso de piezas de fácil adquisición para facilitar el mantenimiento por parte del usuario final.

Requisitos esenciales, considerados demandas prioritarias para la viabilidad del sistema, tales como:

- Monitoreo en tiempo real de temperatura, pH y oxígeno disuelto.
- Capacidad de almacenamiento de alimento acorde a la biomasa de la jaula.
- Implementación de mecanismos eficientes para la dosificación y dispersión del alimento.

Cabe resaltar que muchos de los métodos de verificación de estos requisitos requieren pruebas experimentales con prototipos físicos, lo cual excede el alcance de esta investigación. Sin embargo, se sugiere su implementación en estudios futuros para evaluar la viabilidad operativa del diseño.

Para una comprensión detallada del proceso de determinación de requisitos, se recomienda consultar los siguientes anexos:

- Anexo 1: Entrevista con la Asociación de Sucuni.
- Anexo 2: Lista de requerimientos específicos del cliente.
- Anexo 3: Relación entre los requisitos del cliente y el diseño propuesto.
- Anexo 4: Matriz de requerimientos del sistema.

Estos documentos proporcionan una base sólida para el desarrollo del sistema y garantizan que su diseño responda a las necesidades reales de los acuicultores en jaulas flotantes.

2.5. Propuesta de diseño del producto

A partir del análisis de diversas soluciones existentes, se propone el diseño de un sistema automatizado compuesto por tres subsistemas principales: monitoreo de calidad de agua, alimentación automática y energización mediante energía solar. Este sistema estará diseñado para su aplicación en jaulas flotantes destinadas a la crianza de trucha arcoíris, garantizando un control eficiente de las condiciones ambientales y optimizando la administración del alimento.

- El subsistema de monitoreo permitirá la medición in situ de temperatura, pH y oxígeno disuelto, con una frecuencia de muestreo estimada entre 4 y 6 horas. Esta frecuencia será ajustada en función de los horarios de alimentación y de las condiciones ambientales registradas. El

monitoreo de los parámetros de calidad del agua se realizará de manera superficial, con sensores ubicados a 0.5 metros de profundidad respecto a la posición de la caja de control, donde se alojarán los componentes electrónicos encargados del procesamiento y transmisión de datos.

- El subsistema de alimentación automática se basará en variables clave como temperatura del agua, tamaño de las truchas y horarios óptimos de alimentación, considerando su etapa de crecimiento. El sistema contará con un rango de dispersión del alimento de 2 a 5 metros, diseñado para adaptarse a las condiciones dinámicas de una jaula flotante sometida a la acción de las olas. El sistema contará además con un mecanismo de dosificación del alimento, con una capacidad ajustable entre 2 kg y 5 kg por ciclo de alimentación, permitiendo una administración eficiente de los recursos.
- El subsistema de energización operará mediante un sistema fotovoltaico de corriente continua, diseñado para garantizar un suministro energético estable. Se priorizará el funcionamiento continuo (24/7) de los componentes de bajo consumo, mientras que los elementos de alto consumo operarán hasta 4 horas diarias, en función de la demanda energética del sistema.
- Para la interfaz de usuario, se desarrollará una aplicación diseñada para el sistema operativo Android, la cual permitirá ingresar el tamaño de las truchas (entre 90 cm y 260 cm), visualizar alertas en caso de parámetros fuera de los rangos saludables, monitorear el estado del subsistema de alimentación y recibir notificaciones cuando sea necesario rellenar la tolva de alimento.

3. CAPÍTULO 3: DISEÑO CONCEPTUAL

Para el diseño conceptual, el primer paso entender la descomposición funcional de los componentes que integrarán las arquitecturas mecatrónica, eléctrica y electrónica, diagramas de flujo o sus equivalentes. El árbol de funciones y medios usado para lograr la descomposición funcional se encuentra en el Anexo 5; los bosquejos físicos que complementan a las arquitecturas están en el Anexo 6 y los diagramas de flujo y sus equivalentes están en el Anexo 8.

3.1. Descomposición funcional

La metodología usada tiene como base el árbol de funciones y medios que va desde el nivel 1 con la función más general a cumplir hasta el nivel 3 y 4 donde se concreta más las funciones mínimas necesarias para el funcionamiento del sistema mecatrónico.

3.1.1. Funciones relacionadas al subsistema de energización

Para empezar, relacionado al subsistema de energización se tiene a las funciones de adquirir energía, regular energía y almacenar energía.

Adquirir energía

Los paneles solares están formados por celdas fotovoltaicas para tener una tensión de salida de 12 V a 36 V. Existen tres tipos de paneles: Los paneles monocristalinos tienen mayor rendimiento, pero son más costosos; los paneles de capa fina tienen bajo rendimiento a menor precio y la opción más moderada y potencialmente más adecuada para el proyecto es el panel solar monocristalino (Tritec Intervento, 2022).

Regular energía

Un regulador de carga solar como el MPPT o PWM controla el flujo energético que circula de las placas solares a las baterías. Según el regulador, se puede evitar que se descarguen las baterías durante la noche. Se requiere establecer los voltajes de la batería y de los paneles solares para elegir entre el PWM y MPPT. Asimismo, se debe considerar las causas de averías más frecuentes como la intensidad nominal y tensión de entrada máxima (AutoSolar, 2022).

Almacenar energía

Las baterías de LiFePo₄ son usadas en sistemas fotovoltaicos en el norte de Europa y tienen tiempo de carga en base a paneles solares de 2 a 4 horas. Así mismo, puede brindar entre 12 V a 300 Ah o 24V a 50 Ah, tienen un tiempo de vida útil de 20 años. El tiempo de vida de la batería de Li Ion es de 10 años a menos considerando la eficiencia. Otra alternativa es la batería LiPo, pero tiene menor tiempo de vida y menor capacidad; aunque resalta por su capacidad de descarga rápida (ElectroDaddy, s/f; Mobus, 2022).

Prender y apagar sistema

Esta función implica tener un botón para prender y apagar el sistema que conecta a al regulador de carga con las cargas como los microcontroladores o actuadores. Así mismo, esto implica considerar un botón de parada de emergencia para no incurrir en riesgo eléctrico.

Para tener estable a los elementos que solucionen a las funciones mencionadas se debe tener en cuenta el contexto donde se ubicará el sistema fotovoltaico. Esto implica tener en consideración volcadura por distribuir más el peso y potencial problemas de riesgo eléctrico por su ubicación en medio de una jaula.

3.1.2. Funciones relacionadas al subsistema de monitoreo

En relación subsistema de monitoreo se tiene como base medir el pH, temperatura, oxígeno disuelto (OD) y funciones que complementen el correcto funcionamiento de este subsistema.

Medir el pH

Para medir el pH se pueden utilizar diferentes sondas como la SEN0161 o E201 con módulo PH-4502C (PCE Inst, 2022). Estas sondas pueden unirse con microcontroladores como Arduino en sus presentaciones Mega o Uno, la temperatura en las que funcionan las sondas esta entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$; se debe considerar el límite inferior de temperatura de funcionamiento dado el contexto de los Andes peruanos. Los datos de rango de medición, precisión y voltaje de alimentación son de sondas comerciales que cuestan 118 dólares americanos en pack de 3 unidades (Sigma Electrónica, 2022; SSDielect, 2022). El consumo de potencia máxima de 0.5 W para ambas sondas y tienen corrientes entre 5 a 10 mA.

Medir temperatura

Entre las opciones consideradas se tiene al sensor DS18B20 y al sensor PT100. Se comparan las características obtenidas de páginas web que venden sensores. De lo cual, se deduce que al no necesitar tanta exactitud y por cumplir con lo requerido se puede pensar que el potencialmente más adecuado es el primer sensor mencionado. Esto también se relaciona con el rango de medición, el voltaje de operación y el costo (Endress+Hauser, 2022; Naylamp mechatronics, 2022).

Medir el oxígeno disuelto (OD)

El sensor para medir oxígeno disuelto puede ser el ENV 20 DOX del proveedor Atlas Scientific o el sensor SEN0237 de Gravity. Los precios del ENV 20 DOX son ligeramente mayor que del SEN0237 y que el sensor de Atlas también toma más tiempo en llegar por importación; aunque la precisión también es importante. Además, se observa que el rango del SEN0237 cumple con el rango permisible de vida de las truchas (Atlas Scientific, 2022; DFRobot, 2020).

Gestionar señales

Se compara un Raspberry Pi Zero con Arduinos Mega 2560 Rev3 y Uno. Raspberry Pi es conceptualizado como un ordenador de placa simple, la Raspberry Pi cuenta con conectividad WiFi según el modelo (Hardzone, 2022). Entre otras diferencias, los Arduino funciona bien con baterías y el Raspberry Pi tiene una gran capacidad que no necesariamente se requiera en el proyecto. Los Arduinos para conectarse al WiFi se requiere usar módulos y dependiendo del modelo el Raspberry no lo requiere. En costos, el Raspberry es más costoso comparado con el Arduino. Otra alternativa es usar un ESP32 con antena externa para lograr establecer una red WiFi en un entorno poca cobertura de internet como lo es la zona rural donde se aplicaría el proyecto si se implementase (MCI Electronics.cl, 2022).

Adaptar señales para transmitir

Para adaptar las señales que serán enviados por una red hasta el usuario desde las jaulas flotantes se plantea dos opciones: Wemos D1 mini y NRF24L01. Se observa que la opción NRF24L01 puede cumplir con el objetivo del proyecto ya que la orilla donde se ubique el control está entre 100 y 150 metros. Se observa que el Wemos D1 tiene menor consumo de corriente y mayor voltaje. En general, ambas opciones pueden combinarse con un microcontrolador como el Arduino Mega o Arduino Uno. Adicionalmente, se puede optar por adaptaciones del ESP32 con LoraWan para proyectos IoT (Naylamp, 2022; OKYSTAR, 2022).

Regular el voltaje

Para regular el voltaje que recibe el subsistema de monitoreo respecto al de energización se necesita un LM2596 o LM2596s para lograr disminuir el voltaje de 12 V a 48 V a solo 5 V al cual funcionan la mayoría de los microcontroladores y sensores. Así mismo, existen reguladores que pueden elevar el voltaje de 3.3 V a 5 V; pero para esta investigación nos interesa más disminuir el voltaje (Wilson, 2020).

Controlar el tiempo

En relación con cómo los potenciales microcontroladores saben qué hora es sin tener acceso a internet es un circuito que funcione como un reloj de bolsillo. Es decir, que indique lo hora sin depender de sí está o no conectado a una red. Según el blog de El Octavo Bit,(2020), se tiene que existen módulos reloj como DS1302 RTC que permite ajustar la fecha y hora. Otras alternativas similares son el DS1307 y DS3231.

Mantener sondas a cierta profundidad

Así mismo, para mantener los sensores a una profundidad similar y para evitar que la tensión causada por el movimiento de las corrientes marinas afecte al cable de información, se dispone de una estructura que soporte esta tensión y elementos que sostengan a las sondas. Esto basado en potencial flotación o problemas con el movimiento de la masa de agua de interés.

Ventilar los componentes

Dado que bajo un uso constante se tiene disipación de calor de los microcontroladores, entonces si tiene como apoyo a un ventilador entre 5 a 12 V que ayude no tener problemas de sobrecalentamiento. Esto a su vez se relaciona con espacios en la caja eléctrica para disipar el calor y otras consideraciones de forma. El funcionamiento del ventilador depende de la programación utilizada para prenderse y apagarse, tomando como referencia la temperatura medida por el sensor y el horario de funcionamiento.

3.1.3. Funciones relacionadas al subsistema de alimentación

Almacenar alimento

Se tiene en consideración dos opciones para el material del contenedor donde se almacena el alimento de trucha. Las tolvas son contenedores de forma cónica que tiene una entrada por la parte superior para ingresar el contenido de la tolva. Se tiene un agujero para la descarga del contenido de la

tolva y para dosificar la salida se utilizan sensores, mecanismos entre otros (Tecnotanques, 2020). Se toma en consideración tolvas comerciales para el material a utilizar, la idea es tener un contenedor de alimento en forma de tolva para almacenar 80 kg de alimento de trucha. Entonces, se puede buscar versiones más pequeñas disponibles cercanas al lugar de aplicación del proyecto o diseñarlo. Por el momento, se tiene preferencia por el diseño de una tolva de polietileno de alta densidad, aluminio o fibra de vidrio.

Abrir el contenedor de alimento

Esto implica tener una compuerta por donde el usuario pueda rellenar el contenedor de alimento y que está se confiable para que no ingrese el agua. Dado que si ingresa agua al contenedor se puede generar una masa viscosa con el alimento seco en pellets que se compra comercialmente a AQUATECH. Se consideró tres tipos de compuertas: basculante, cilindro o esclusa. Existen diferentes formas de compuertas, entre las ya descritas las ventajas de más interés son el tipo cilindro y esclusa por el movimiento lineal, la compuerta basculante combina el movimiento lineal y giratorio (Sánchez, 2017).

Generar movimiento del dispensador

Entre las opciones consideradas para generar movimiento se tiene el motor paso a paso, electroválvulas y servomotor. Entre las opciones para generar movimiento se tuvo en primer momento en consideración motores o actuadores lineales, luego se consideró que dada la disposición de la tolva de alimentos se puede utilizar una electroválvula. Estas opciones utilizan corriente continua para funcionar y se pueden conectar con microcontroladores (SDI, 2022).

Dispensar el alimento

Como se mencionó antes, existen dos maneras de dispensar: volumétrico y por peso. En este caso, por el entorno sinuoso se considera más la opción volumétrica dado que la opción de por peso no ofrece la precisión necesaria que compense la simplificación de un usar un tornillo sinfín como compuerta de salida y para medir el alimento dispensado (Pinto & Sánchez, 2006).

Generar movimiento del distribuidor

Para generar un movimiento giratorio se tiene que considerar a motores DC de 5 a 12 V, motores paso a paso y servomotores con cierta velocidad de rotación. Esto implica calcular el torque y

velocidad necesarias para impulsar un pellet desde punto de distribución hasta una distancia entre 2 y 5 metros.

Distribuir el alimento

Para distribuir el alimento se puede tener en consideración que el alimento pueda caer en un plato receptor que tenga hélices o paletas que empujen el alimento radialmente. Esto relacionado a que por programación el distribuidor sepa cuando prenderse y apagarse en base a como funcione la dispensación.

Reconocer tolva vacía

Para saber cuándo la tolva necesita ser rellena se puede poner sensores de distancia, de presión o cámaras entrenadas para identificar esta situación. Adicionalmente, se tiene en cuenta sensores de contacto o fin de carrera que funciones con sus valores binarios para entender cuando se requiere rellenar el contenedor.

Mantener a flote los componentes

Esto se logra conociendo la capacidad de carga del contenedor y el peso de los componentes que constituyen el proyecto. En ese sentido, existen antecedentes de sistemas similares que soportan hasta 350 kilogramos. Así mismo, también se debe considerar que existe elementos de flotación y anclaje de las jaulas flotantes (Bluesensor, 2022).

3.2. Arquitectura del sistema mecatrónico

La arquitectura del sistema mecatrónico se compone diferentes sistemas operacionales. En el sistema de energía materia se tiene al sistema fotovoltaico compuesto por el panel solar monocristalino, el regulador de carga solar MPPT y la batería Litio; también se cuenta con la estructura de acero galvanizado con un flotador para sostener a los componentes electrónicos y a la tolva de polietileno con sus mecanismos. Para dosificar el alimento se usa tornillo sinfín y para distribuirlo se usan unas paletas unidas a un eje, ambos necesitan conocer la información que provee el ESP32. Asimismo, se tiene como interfaz de entrada y salida a un *smartphone* de pantalla táctil con sistema operativo Android. Esta forma de interactuar con el usuario se determina por la familiaridad que se tiene en el uso de celulares y se ofrece una aplicación o página web. Así mismo, se tiene sensores para saber cuándo rellenar la tolva y ventiladores para disipar calor generado por los microcontroladores. El usuario puede hacer el

monitoreo de la temperatura, pH y oxígeno disuelto y cuando rellenar la tolva; además, se puede ingresar el tamaño de la trucha de la jaula donde se instala el sistema (Ver Figura 16).

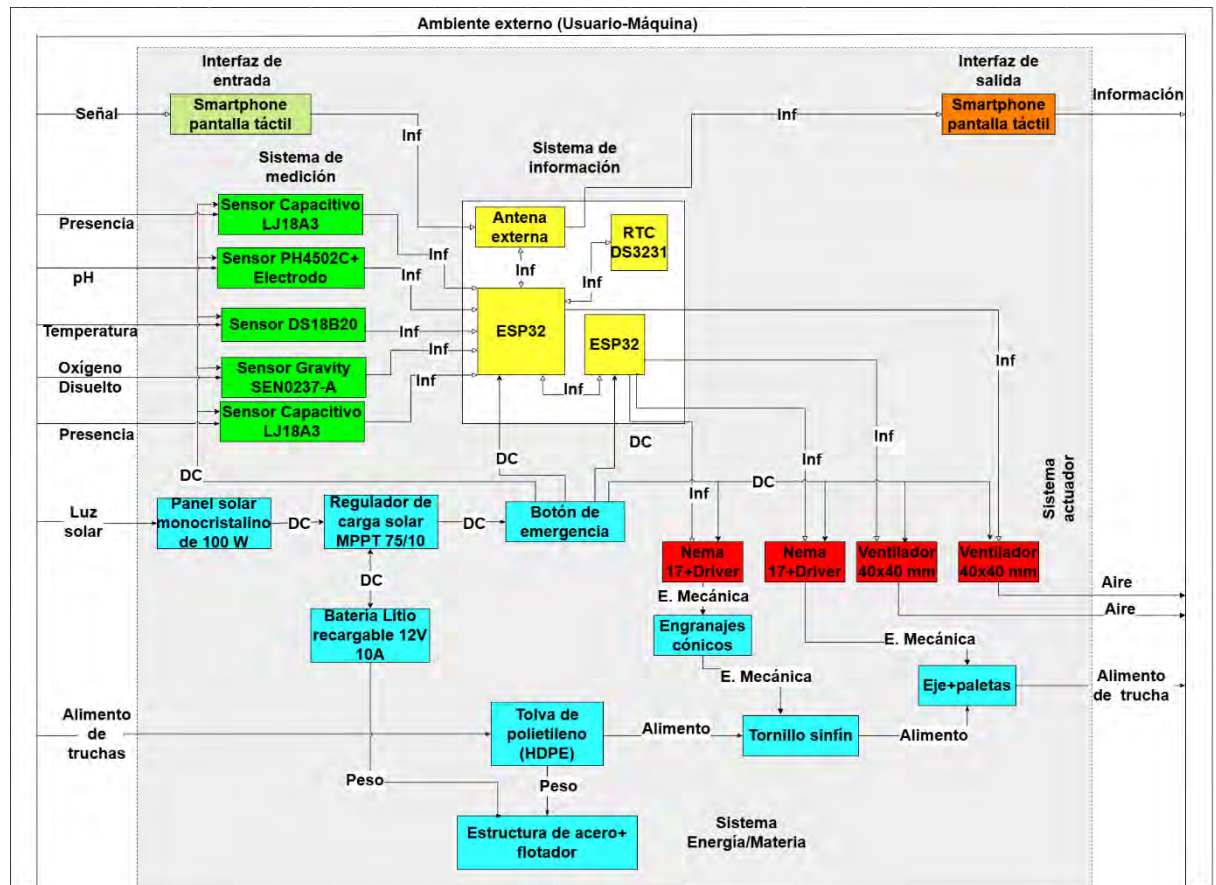


Figura 16. Arquitectura del sistema mecatrónico

Nota. Elaboración propia

3.3. Arquitectura del sistema eléctrico electrónico

El sistema instalado en las jaulas flotantes utiliza un sistema fotovoltaico para proveer de corriente continua a los componentes como sensores, actuadores o componentes de gestión y transmisión de datos. Además, se utiliza un *smartphone* para interactuar con el usuario que es recargado con un cargador estándar de celulares de 5V y 3A. Las líneas azules representan a las líneas de corriente continua, las líneas punteadas representan señales eléctricas y la línea roja representa la corriente alterna.

El sistema fotovoltaico se compone de un panel solar, un regulador de carga MPPT, una batería de litio de 12 VDC y un botón de emergencia. Luego dado que del regulador de carga se va tener un voltaje de 12VDC y componentes que funcionan hasta 5VDC se tiene en cuenta los reguladores DC-DC step-down o buck. Entonces, cada sonda con su módulo permite la admisión de datos; tenemos entre todos unos 5 sensores considerando la combinación entre módulo y sonda. Así mismo, se tiene en cuenta que por la disposición física del diseño se tiene en cuenta dos ESP32, una antena externa y un reloj del tipo RTC (Ver Figura 17).

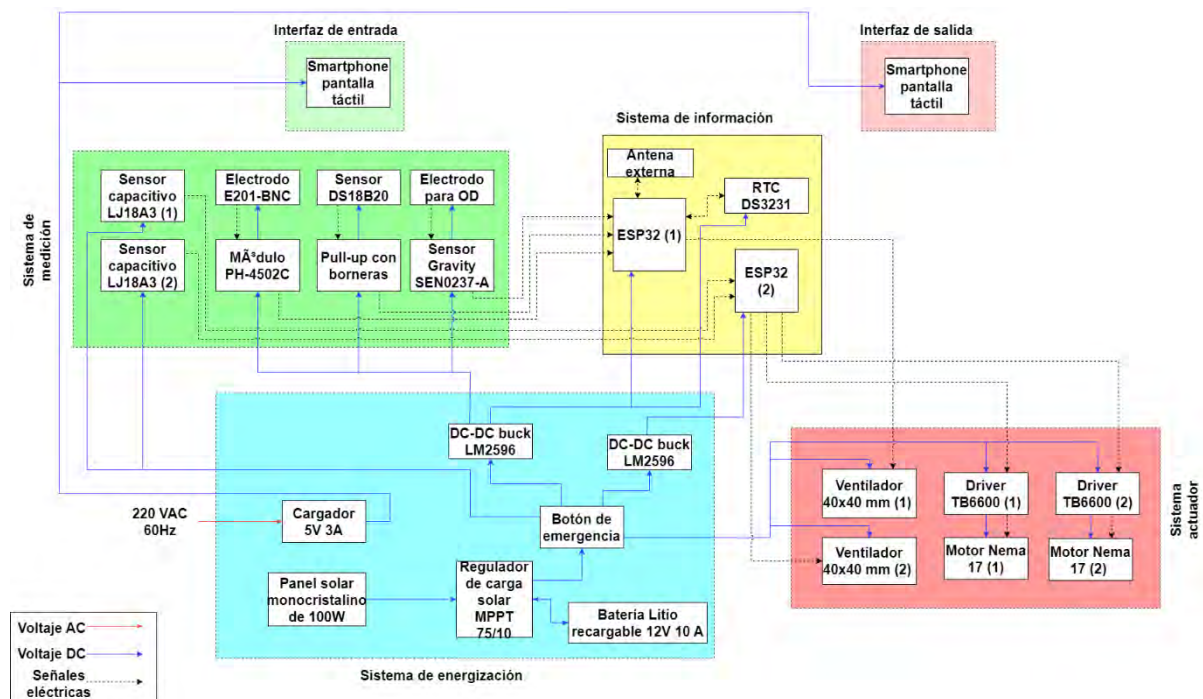


Figura 17. Arquitectura del sistema eléctrico electrónico

Nota. Elaboración propia

3.4. Bosquejos mecánicos

Los bosquejos mecánicos permiten la distribución espacial de los componentes usados para el proyecto, es una representación conceptual del producto final que será trabajado con programas de diseño como Inventor. Se tiene tres subsistemas: de energía, de monitoreo y el alimentador. Se consideran los componentes de la descomposición funcional para obtener los componentes del sistema y estos se indican el bosquejo general. El sistema fotovoltaico compuesto del panel solar, regulador MPPT, batería de Litio están montados sobre el elemento flotador y a través de cables energizan a los

otros componentes. Así mismo, se hizo una disposición de carcasas donde se ubican componentes electrónicos sobre el elemento flotador considerando la estructura metálica

En relación con el sistema fotovoltaico, se compone de un panel solar monocristalino conectado a un regulador de carga solar MPPT, el regulador se conecta a la batería Litio. La estructura que sostiene al panel y contiene a los componentes está fijado en la superficie de la tolva y elemento flotador.

Respecto al subsistema de monitoreo, tiene como base al microcontrolador, a los tres sensores con sus sondas, al regulador de voltaje, al controlador de tiempo, la antena externa del microcontrolador y ventilador.

Respecto al dispensador, funciona básicamente con un tornillo sinfín y un motor que genera movimiento giratorio a través de engranajes cónicos. Esto permite reducir la velocidad que se obtiene en el motor combinado con la precisión que ofrece el motor para determinar la masa por métodos volumétricos aproximados. Así mismo, los componentes del distribuidor se basan en la distribución uniforme sobre la superficie del agua que emula a como suelen dispersar el alimento los acuicultores. En el anexo 7 se tiene a los bosquejos del diseño conceptual de este sistema.

3.5. Diagramas de flujo

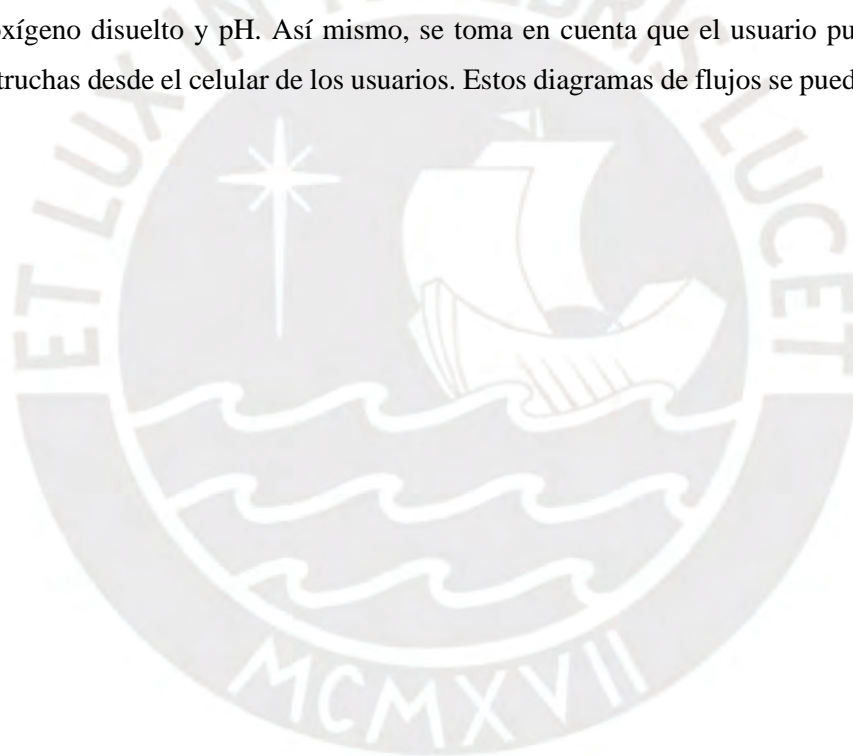
En general, el sistema debe encenderse por primera vez para tener el sistema fotovoltaico en funcionamiento, gracias a este nodo de alimentación se energiza los otros nodos. Se tiene tres alertas visuales para avisar si la temperatura, oxígeno disuelto y pH son adecuados o no. Además, se tiene un mensaje resumen donde se ve si el sistema funciona adecuadamente o no. El usuario también puede ingresar el tamaño de las truchas para ajustar el alimento que se les dará, guardar los datos con la memoria de su celular y refrescar la web donde se visualizan los datos. Así mismo, se tiene una alerta textual para cuando se requiera rellenar la tolva.

El diagrama de flujo de horarios de alimentación parte de la entrevista con la Asociación de crianza de truchas, se obtuvo que los horarios de alimentación de las truchas se componen de tres horarios. La primera comida se da a las 7 am, luego al medio día y la última comida del día se da a las 4 o 5 pm según las condiciones climáticas. El alimento brindado a estas horas varía desde 1.5 kg hasta 3 kg en experiencia de los acuicultores según las condiciones del agua y del tamaño de las truchas. Además, el sistema fotovoltaico tiene paneles solares que reciben energía del entorno y la convierten en electricidad que luego pasa a un regular de carga solar MPPT, este tiene dos opciones: enviar la

energía a la batería o enviarla a la carga. También se toma en cuenta que el regulador de carga use la energía almacenada en la batería si se requiere.

El sistema de alimentación se basa en la integración del sistema de dispensación y distribución en base a parámetros que se conocen por el monitoreo y también se adaptan al tamaño ingresado por el usuario tres rangos de tamaños. Para la dispensación se tiene en cuenta el escalamiento que hay entre el número de vueltas del tornillo y el alimento dispensado en gramos por segundo. Además, se debe considerar una distribución hasta 2.5 metros respecto al punto de dispensado para cubrir la mayor cantidad de superficie de la jaula lo más uniformemente posibles.

Para el monitoreo, se tienen rangos para lograr el crecimiento óptimo y para evitar la muerte o estrés excesivo de las truchas. Entonces, se toma en cuenta los rangos para el monitoreo de la temperatura, oxígeno disuelto y pH. Así mismo, se toma en cuenta que el usuario puede ingresar el tamaño de las truchas desde el celular de los usuarios. Estos diagramas de flujos se pueden ver el anexo 7.



4. CAPÍTULO 4 SUBSISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo de tiene tres dominios: eléctrico/electrónico, mecánico, software e interfaz. Entre estos dominios, para este subsistema es más relevante la elección adecuada de sensores y el gestor de información que establezca la red WiFi.

4.1. Dominio eléctrico/electrónico

En este dominio se hace la elección de los sensores, el microcontrolador, regulador de voltaje, ventilador, reloj y las conexiones entre estos.




4.1.1. Sensores de pH, oxígeno disuelto, temperatura

Para el sistema de monitoreo se toma en cuenta el pH, oxígeno disuelto y temperatura de la masa de agua donde se crían a las truchas.

Sensor de pH

Dado el marco teórico, se define que el pH puede ir entre rangos para considerarlo un nivel aceptable. Fuera de ese rango las truchas pueden estresarse y morir. Para medir el pH se pueden utilizar diferentes sondas como la SEN0161, PH-4502C, sensor SEN0244 con sondas E-201 (PCE Inst, 2022). A continuación, se muestra una tabla resumen comparando valores de interés. Así mismo, se tiene como objetivo probar en lo posible los sensores en ambientes controlados para ver los temas de calibración y ver cómo se relacionan con el microcontrolador (Ver Tabla 9).

Tabla 9. Opciones de la función medir el pH

Opciones	Sensor de pH SEN0161	Sensor PH-4502C	Sensor SEN0244
Criterios de comparación			
Precisión	± 0.1 pH	± 0.2 pH	± 0.1 pH
Temperatura de funcionamiento	0 – 80 °C	0 – 80 °C	0 – 60 °C

Rango de medición	0 a 14 pH	0 a 14 pH	0 a 14 pH
Voltaje de alimentación	5 V	5 V	3.3 V a 5 V
Corriente	5 mA a 5 V	5 mA a 5 V	5 mA a 5 V
Sonda	E-201	E-201	E-201
Ruido	< 0.5 mV	-	-
Compatibilidad	Arduino, Raspberry Pi	Arduino, Raspberry Pi, ESP32	Arduino, Raspberry Pi, ESP32
Vida útil	1 año	6 meses	6 meses
Tamaño de cable de la sonda	1 metro	5 metros	2 metros
Precio	70 a 150 soles	60 a 100 soles	100 a 200 soles

Nota. Elaboración propia




Estos sensores pueden unirse con microcontroladores como Arduino en sus presentaciones Uno o ESP32, la temperatura en las que funcionan las sondas son entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$; se debe considerar el límite inferior de temperatura de funcionamiento dado el contexto de los Andes peruanos. Los datos de rango de medición, precisión y voltaje de alimentación son de sondas comerciales que cuestan 118 dólares americanos en pack de 3 unidades. (Sigma Electrónica, 2022; SSDielect, 2022). El consumo de potencia es de 0.5 W para ambas sondas y tienen corrientes entre 5 a 10 Ma.

Sensor de temperatura

El rango de temperatura para truchas esta entre $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ para considerarse un rango de temperatura aceptable. Entre las opciones consideradas se tiene al sensor DS18B20 y al sensor PT100. Se comparan las características obtenidas de páginas web que venden sensores (Endress+Hauser, 2022; Naylamp mechatronics, 2022). Se tiene como objetivo probar este sensor en un ambiente controlado y de forma preliminar para ver su funcionamiento junto con el microcontrolador (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Opciones de la función medir temperatura

Opciones	Sensor DS18B20	Sensor PT100	TMP36 Waterproof
----------	----------------	--------------	------------------

Criterios de comparación			
Voltaje de operación	3 a 5.5 V	2 a 4 V	2.7 a 5.5 V
Corriente de operación	1 a 1.5 mA a 5 V	1 mA	50 uA a 5 V
Rango de medición	-55 °C a 125 °C	-50 °C a 200 °C	-40 a 125 °C
Precisión	±0.5 °C entre -10°C a 85 °C	± 0.3 °C	±2 °C
Longitud del cable	1 a 3 metros	1 metro	-
Precio	10 a 25 soles	Mayor a 150 soles	10 a 40 soles
Compatibilidad	ESP32 y Arduino Uno	ESP32 y Arduino Uno	ESP32 y Arduino Uno
Sumergible	Hasta 30 metros	Hasta 50 metros	Hasta 10 metros
Vida útil	10 años	-	-




Nota. Elaboración propia

Dado que no se requiere un amplio rango de medición, el voltaje de operación conocido y el costo se opta por el sensor DS18B20. El sensor seleccionado también es fácilmente comprable en mercados de electrónica, es decir, es más accesible.

Sensor de oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto también tiene un rango para considerarse aceptable, el rango esta entre 5.5 y 8.1 mg/L. El sensor para medir oxígeno disuelto puede ser el ENV 20 DOX del proveedor Atlas Scientific o el sensor SEN0237 de Gravity. Las características para comparar estas opciones se ponen en la Tabla 11 (Atlas Scientific, 2022; DFRobot, 2020).

Tabla 11. Opciones de la función medir el oxígeno disuelto

Opciones	Sensor ENV 20 DOX	Sensor SEN0237-A	Sensor JPB-70 ^a 3
Criterios de comparación			
Rango	1 – 50 mg/L	0 – 20 mg/L	0 a 20 mg/L

Voltaje de operación	3.3 V a 5 V	5V	5 V
Corriente de operación	< 10 mA	< 5 mA	< 3 mA
Precisión	± 0.2 mg/L	± 0.1 mg/L	± 0.1 mg/L
Rango de temperatura	1 a 50 °C	0 a 40 °C	0 a 50 °C
Vida útil	2.5 años	1 año	1 año
Tamaño de cable	45 cm	2 metros	3 metros
Precio	200 a 300 soles	80 a 150 soles	400 a 500 soles
Compatibilidad	ESP32, Arduino, Raspberry Pi	ESP32, Arduino, Raspberry Pi	ESP32, Arduino, Raspberry Pi




Nota. Elaboración propia

Los precios del SEN0237 son ligeramente mayor que del ENV 20 DOX y a un menor precio del JPB-70A3. Además, en la tabla se observa que el rango del SEN0237 cumple con el rango permisible de vida de las truchas y es más accesible en Perú.

4.1.2. Selección de microcontrolador

Se compara un Raspberry Pi Zero con Arduinos Mega 2560 Rev3 y Uno Rev3. Raspberry Pi es conceptualizado como un ordenador de placa simple, la Raspberry Pi cuenta con conectividad WiFi según el modelo en la Tabla 12 (Hardzone, 2022).

Tabla 12. Opciones de la función gestión de señales

Opciones	Raspberry Pi Zero	Arduino Uno	ESP32
Criterios de comparación			
SoC	ARM1176JZF-S 1 GHz	ATmega328 16 MHz	Dual core, 240 MHz
Set de instrucciones	ARMv7 - A	Arduino IDE	Arduino IDE
RAM	512 MB SDRAM	2 KB	520 KB
Almacenamiento	MicroSD	32 KB flash	4 MB flash

Conectividad	Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet	No	Wi-Fi, Bluetooth integrados
Precio relativo	150 a 200 soles	60 a 100 soles	35 a 60 soles
Tamaño	Pequeño	Pequeño	Pequeño
Voltaje	5V	5V	3.3V
Corriente	140 mA sin periféricos	50 mA sin periféricos	80 a 260 mA según la velocidad del reloj
Programación	Python, C, C++	Arduino IDE	Python, C, C++, Arduino IDE

Nota. Elaboración propia




Entre otras diferencias, los Arduino funciona bien con baterías y el Raspberry Pi tiene una gran capacidad que no necesariamente se requiera en el proyecto. Pero entre estas características, es importante la conectividad, almacenamiento, programación y costo; por lo cual, se opta por el ESP32. Los ESP32 pueden usar también tecnología LoRaWan para establecer redes a largas distancias. Considerando que se requiere una red inalámbrica en una zona rural sin obstrucciones y con lluvias, se tiene que considerar el uso de antenas y protección ante lluvias. (MCI Electronics.cl, 2022).

Para la antena externa, se toma en cuenta la antena 2.4 GHz WiFi 2 SMA con un cable de 15 cm. Esta antena tiene un rango de frecuencia entre 2.4 y 2.5 GHz con una ganancia máxima de 2 dBi y una entrada máxima de 50 W y una polarización vertical (Amazon, s/f).

4.1.3. Selección de reloj

Dado que se requiere tener un control del tiempo para brindar la alimentación según los horarios fijados por el usuario, se debe tener en cuenta la elección de un componente que funcione como un reloj. Entre las opciones más usuales para lo propuesto se tiene a los circuitos RTC (Ver Tabla 13).

Tabla 13. Selección de reloj

Opciones	DS1307	PCF8523	DS3231
Criterios de comparación			
Voltaje	5 V	3.3 o 5 V	3.3 o 5 V

Corriente	500 uA	1.5 uA	500 uA
Tamaño	8-pin DIP	8-pin DIP	16-pin SOIC
Interfaz	I2C	I2C	I2C
Memoria	56 bytes	64 bytes	56 bytes
Compensación de temperatura	No	Sí	Sí
Compatible con ESP32	Sí	Sí	Sí
Precisión	Baja	Media	Alta
Tiempo de vida	10 años	10 años	20 años




Nota. Elaboración propia

Se toma en cuenta al DS3231 principalmente por su tiempo de vida y por considerarse más preciso que las otras opciones.

4.1.4. Selección de regulador de voltaje

El regulador de carga del sistema fotovoltaico puede ser una salida de un voltaje mayor a 5 V, mientras la mayoría de los componentes suelen funcionar a 5 V (Ver Tabla 14).

Tabla 14. Selección del regulador de voltaje tipo buck

Opciones	XL4015	LM2678	LM2596 Step down
Criterios de comparación			
Voltaje de entrada	4 a 40 V	8 a 40 V	4.5 a 40 V
Voltaje de salida	1.25 a 32 V	5 a 12 V	1.23 a 37 V
Corriente máxima	5 A	5 A	3 A
Eficiencia	Hasta 96%	Hasta 95%	Hasta 92%
Frecuencia de conmutación	180 kHz	260 kHz	150 kHz
Protección contra sobrecalentamiento	Sí	Sí	Sí

Protección contra polaridad inversa	Sí	Sí	Sí
--	----	----	----




Nota. Elaboración propia

En general todos cumplen la función, en este caso al no necesitar algo con tanta eficiencia y por ser más barato se toma en consideración al LM2596 Step down.

4.1.5. Selección del ventilador

Así mismo para proteger contra sobrecalentamiento se tiene un ventilador, además, es por su tamaño puede usarse en la caja eléctrica (Ver Tabla 15).

Tabla 15. Selección de ventilador

Opciones	Ventilador 40x40x20	Ventilador 40x40x20	Ventilador 40x40x20
Criterios de comparación			
Tamaño (mm)	40x40x20	40x40x20	40x40x20
Conexión	3 pines	3 pines	3 pines
Voltaje	12 V	12 V	12 V
Corriente	0.15 A	0.25 A	0.18 A
Velocidad (RPM)	5000	6000	5500
Flujo de aire (CFM)	10	12	11
Nivel de ruido	20	25	22

Nota. Elaboración propia

En este caso, se eligió el que generó un flujo de aire intermedio y consumo de corriente intermedio respecto a las diferentes opciones. Por lo cual, se toma en cuenta el ventilador de 40 por 40 por 20 milímetros.

4.1.6. Conexiones

Se tiene conexiones entre los componentes con el ESP32 dada la cantidad de pines del ESP32 se debe definir que pines se conectan a los sensores y el resto de los componentes. Para ver las conexiones en un plano esquemático se tiene que ir al anexo 14.

4.2. Dominio mecánico

Para este dominio es importante tener en cuenta que los componentes pueden disipar calor y que no pueden estar contacto con el agua o humedad, con excepción de los electrodos y sus cables. Además, se puede considerar un apoyo para los electrodos. Así mismo, se describe la ubicación y dimensiones de las jaulas flotantes; dado que tiene como objetivo hacer un monitoreo remoto.

4.2.1. Características de las jaulas flotantes

Se toma en cuenta la ubicación de la jaula flotante para entender porque es necesaria esa cantidad de carga para la tolva y otros requisitos mencionados en este capítulo (Ver Figura 18).

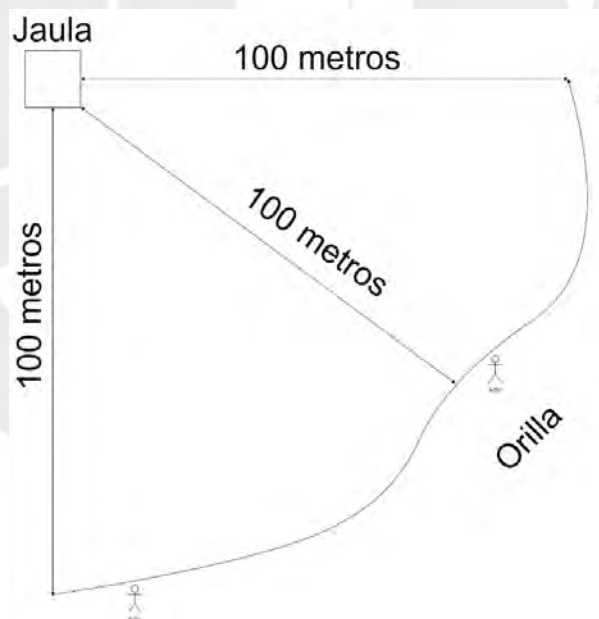


Figura 18. Ubicación de la jaula respecto a la orilla

Nota. Elaboración propia

Según la entrevista con el acuicultor se conoce que las jaulas se ubican entre 100 y 150 metros de la orilla más cercana, esto implica que para hacer un monitoreo remoto debe existir red WiFi que cubra como mínimo esa distancia (Ver Figura 19).

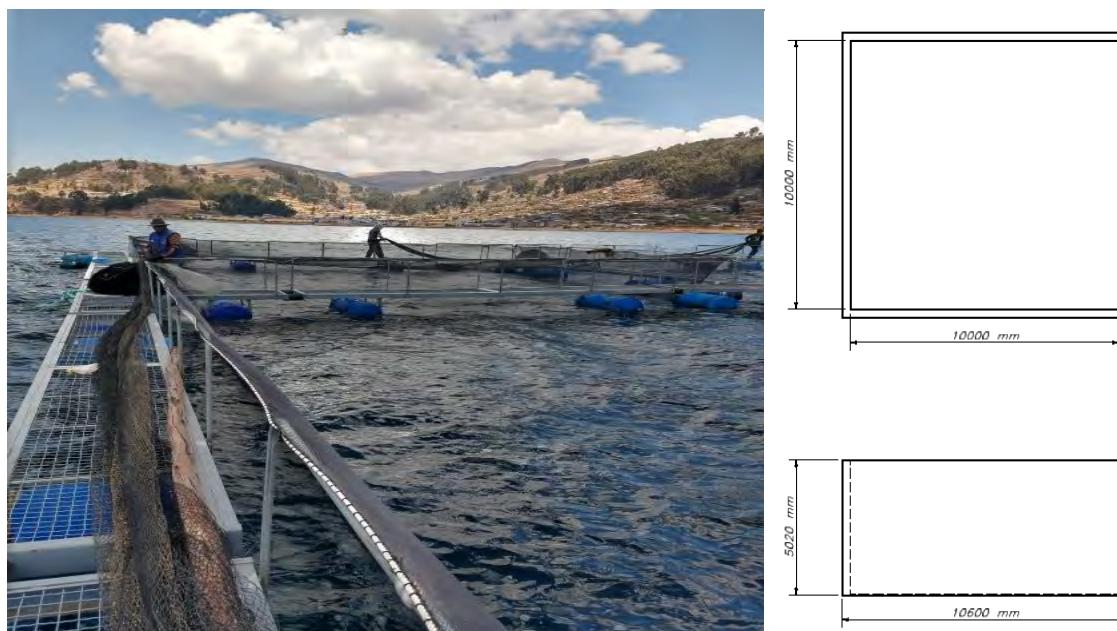


Figura 19. Jaula donde se instalaría el sistema mecatrónico

Nota. Elaboración propia

Esta figura representa una jaula real instalada en el lugar de interés y como entre las jaulas flotantes y las orillas no existen obstrucciones como paredes de concreto u otras obstrucciones. Además, se toma en cuenta lo consultado con la especialista Karol Villanueva: para monitorear la masa de agua con una profundidad de 5 metros es suficiente hacer toma de muestras a 0.5 metros respecto a la superficie del agua.

4.2.2. Material y distribución interna

Lo principal de este dominio es no permitir que los cables de información de la sonda no floten ni sufran mucha tensión el movimiento de las olas. Además, se debe proteger los componentes electrónicos ante posible filtración de agua por lo cual es importante tener en cuenta potenciales recubrimientos.

Material y recubrimiento

Los electrodos de pH tienen recubrimiento de vidrio para proteger su membrana sensor. Los electrodos de OD tienen un recubrimiento de cerámica y los electrodos de temperatura tiene un recubrimiento polímero para proteger el sensor. Algunos recubrimientos que se puede usar para uniones son: poliurea, epoxi, teflón. La poliurea es resistente a la abrasión, corrosión e impactos, resistente a rayos UV; usado con metales, concreto y madera. El epoxi es adecuado para metal y concreto para aguantar rayos UV y cambios de temperatura. Además, el teflón es resistente a la corrosión, cambios de temperatura, radiación UV para materiales como metales o tubos de PVC. Se debe tener cuidado con la entrada del cable a la caja donde se ubicarán los componentes (Alibaba, s/f). En relación al material de la caja para electrónica, estas pueden ser de metal o plástico. Las cajas de plástico son más económicas y suelen tener formas cilíndricas o rectangulares (Electricistard, s/f). Existen cajas aislantes plásticas aptas para dispositivo de flujo eléctrico, éstas suelen empotrarse para que sean menos intrusivas. Suelen tener un espesor de media pulgada y 3/4 de pulgada. Considerando que los componentes contenidos no pesen más 25 kilogramos en total. Entre materiales utilizados están el cloruro de polivinilo (PVC). Aunque también se puede diseñar una caja eléctrica para fabricarla por impresión 3D con PLA (VARIPlast, 2022). La caja tiene un espesor de 2 mm y principalmente es una caja eléctrica de plástico.

Distribución interna

Dada la ubicación de la antena, se tiene al microcontrolador en la parte superior. Además, se tiene los módulos de los sensores en la parte inferior para el pH, temperatura y oxígeno disuelto. Otros componentes dispuestos en el regulador de voltaje, el ventilador y el reloj. También se consideró una estructura para unir los cables metálicos, los soportes a las sondas (Ver Figura 20).

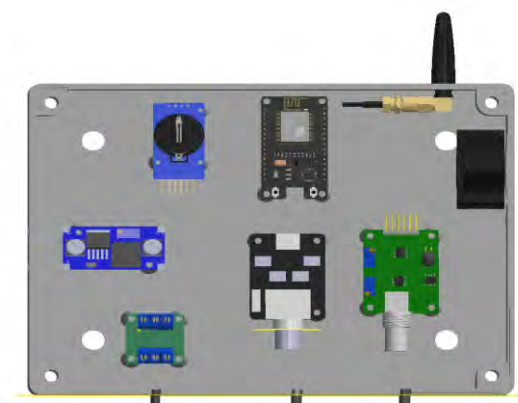


Figura 20. Modelo 3D preliminar del subsistema de monitoreo

Nota. Elaboración propia

Así mismo, se tuvo en cuenta que este alineado los módulos de los sensores con los cables. Esto también tuvo en consideración que los elementos deben atornillarse con la caja.

Elementos de unión

Los tornillos no deben ser afectados por corrosión; por lo cual deben ser de materiales como el acero inoxidable o latón. El tornillo y arandela debe evitar que los componentes se desplacen o vibren para que no afecte su funcionamiento. El ESP32 tiene agujeros para tornillos M2.5, es decir un diámetro exterior de 2.5 mm y una separación de rosca de 0.45 mm.

Así mismo, se debe tomar en cuenta los tornillos para los módulos que existe entre los sensores y el microcontrolador. Para sostener los electrodos de los sensores se toma como referencia la figura 21:



Figura 21. Imagen de cómo se sostienen las sondas

Nota. Elaboración propia

Se toma en consideración esta idea para no tener los electrodos sueltos, de esta forma se tiene más control sobre la ubicación de los sensores. Esto también ayuda a que los cables no se jalen de manera brusca, se considera un cable entre mida entre 0.25 a 1 metro.

4.3. Dominio de software

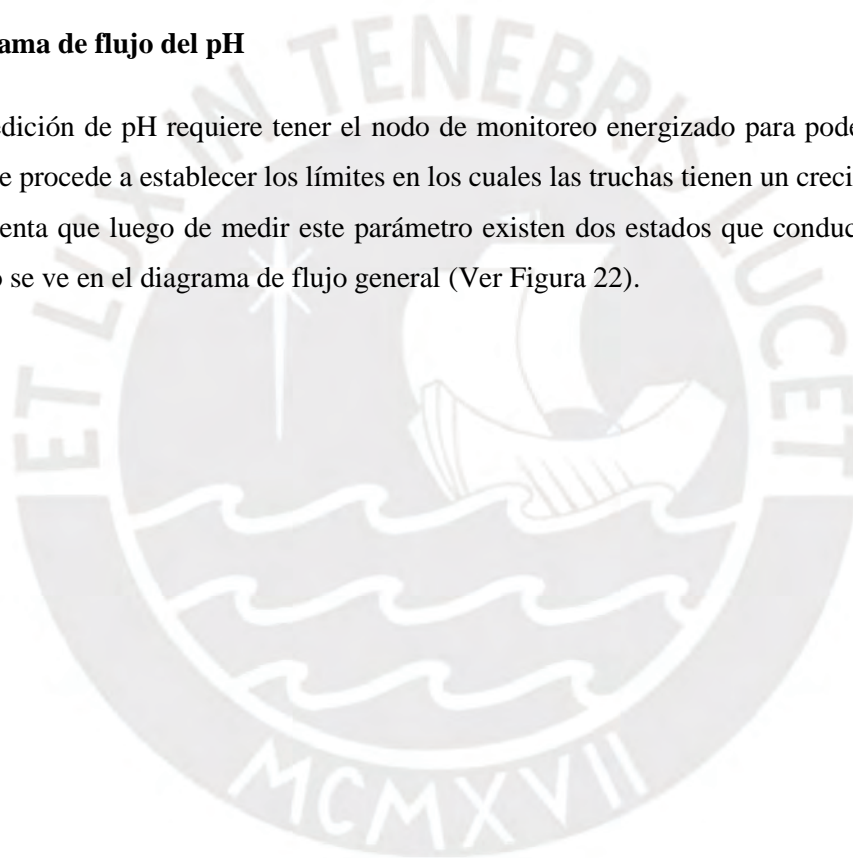
Se toma en cuenta los rangos para dar notificaciones adecuadas en base a los parámetros a medir y que los usuarios lo entiendan.

4.3.1. Diagramas de flujo

Para explicar la lógica de funcionamiento se tiene en cuenta pseudocódigo o diagramas de flujo para explicar cómo funciona el subsistema de monitoreo. En este subsistema, se usa diagramas de flujo para el monitoreo de pH, oxígeno disuelto, temperatura, horarios de alimentación.

Diagrama de flujo del pH

La medición de pH requiere tener el nodo de monitoreo energizado para poder medir el pH, luego de ello se procede a establecer los límites en los cuales las truchas tienen un crecimiento óptimo. Se tiene en cuenta que luego de medir este parámetro existen dos estados que conducen a diferentes acciones como se ve en el diagrama de flujo general (Ver Figura 22).



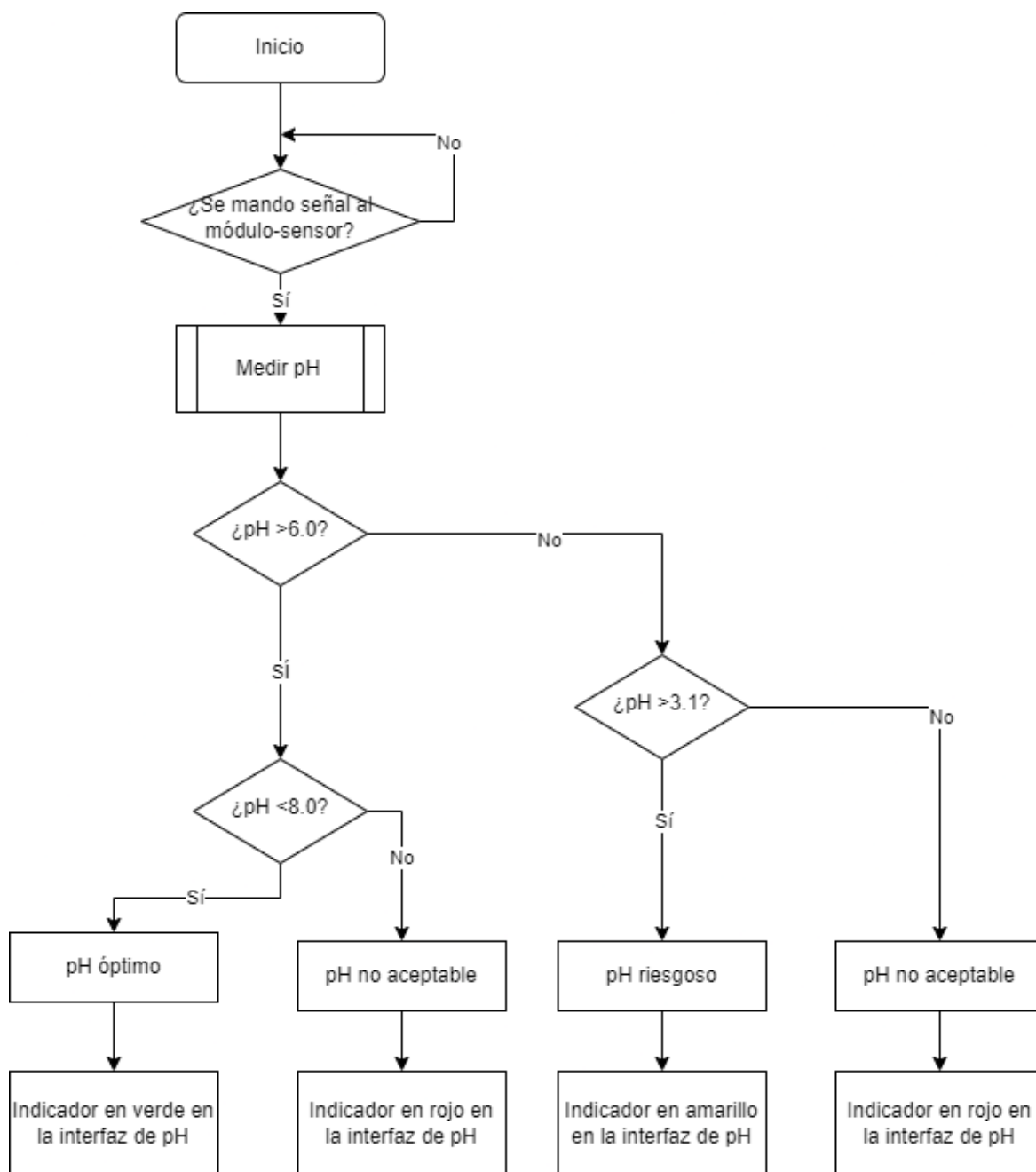


Figura 22. Diagrama de medición del pH

Nota. Elaboración propia

Diagrama de flujo del oxígeno disuelto

El proceso es el similar a la medición del oxígeno disuelto considerando que existen límites para un crecimiento óptimo, lento o riesgoso y otro que puede causar la muerte del pez. En ese sentido, se debe alertar al usuario según el nivel de riesgo que representa para el pez; además, el diagrama de flujo el oxígeno disuelto se mide en mg/L (Ver Figura 23).

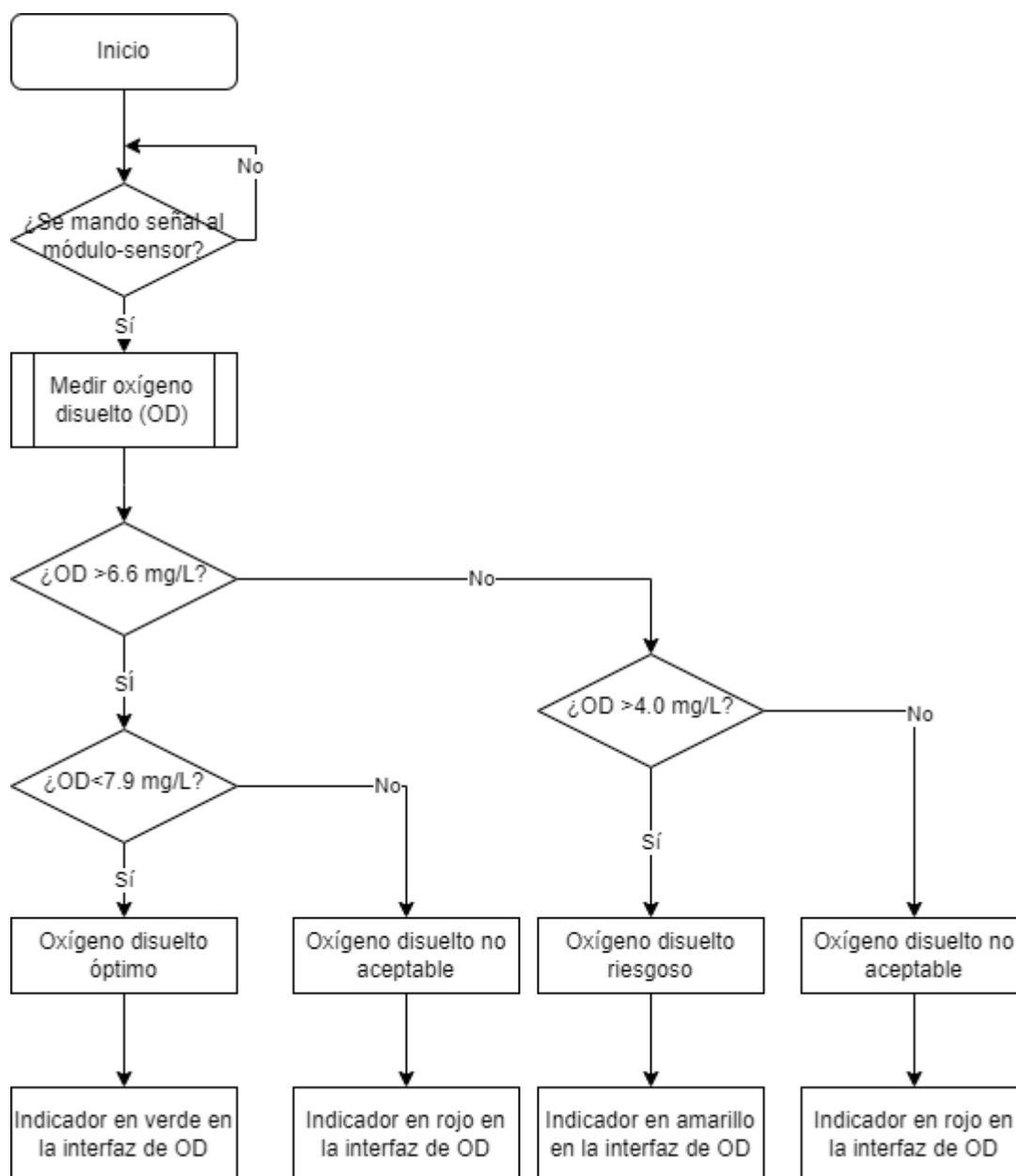


Figura 23. Diagrama de flujo de medición del oxígeno disuelto

Nota. Elaboración propia

Diagrama de flujo de la temperatura

La temperatura y los otros parámetros son mediciones superficiales de la masa de agua donde se encuentran las jaulas, el proceso de medición de temperatura es análogo al de oxígeno disuelto. Los límites máximos y mínimos de los flujos corresponden a los que rangos del Manual de crianza de truchas del SNA y FONDEPES. Para el diagrama el flujo, la temperatura se mide en grados Celsius (Ver Figura 24).

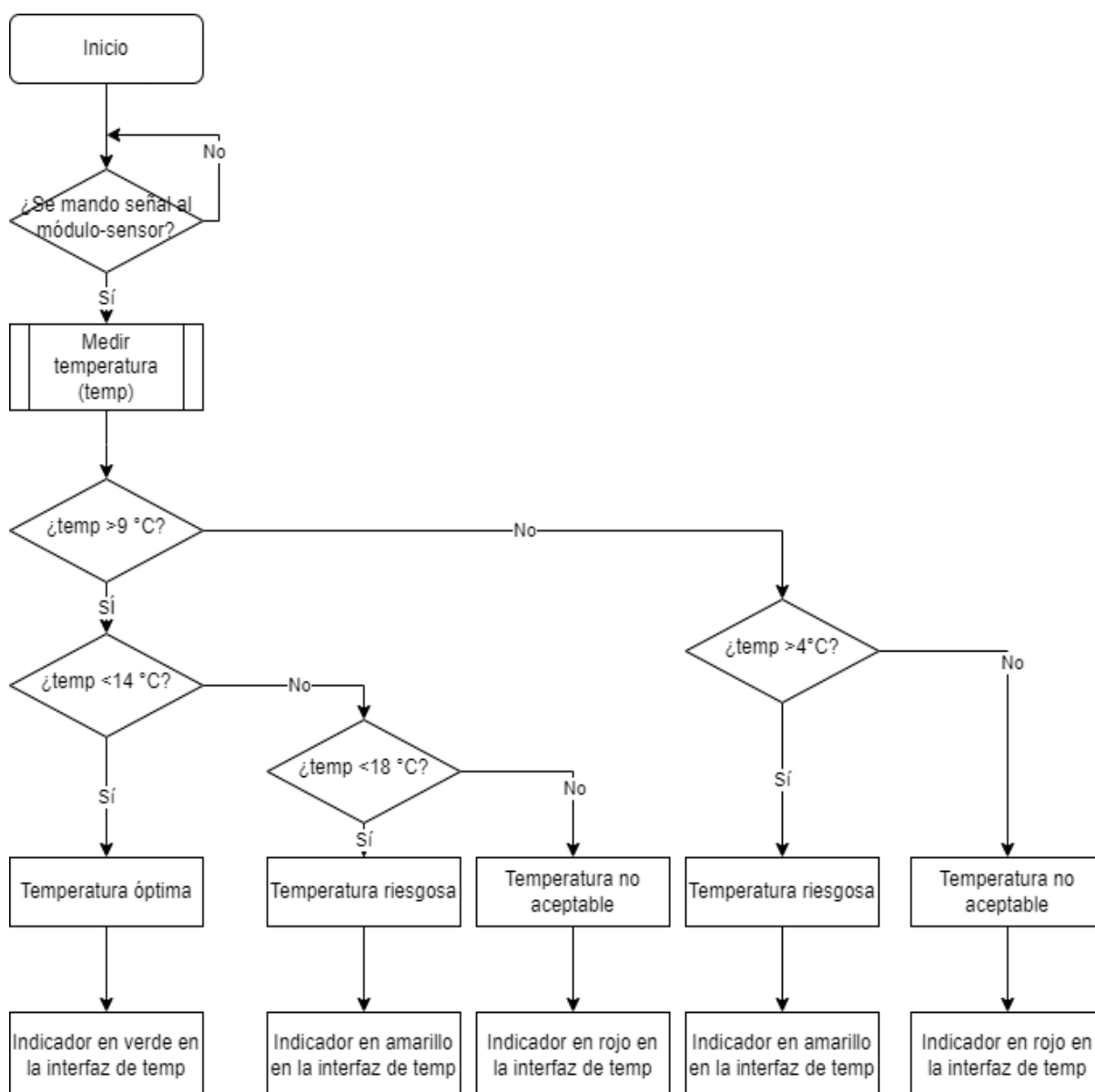


Figura 24. Diagrama de flujo de la medición de temperatura

Nota. Elaboración propia

Se debe tener en cuenta que esta investigación se centra en las jaulas para no alevinos con un tamaño de juvenil a engorde.

Diagrama de la alimentación

De la entrevista con la Asociación de crianza de truchas, se obtuvo que los horarios de alimentación de las truchas se componen de tres horarios. La primera comida se da entre 6 y 7 am, luego al medio día y la última comida del día se da a las 5 o 6 pm según las condiciones climáticas. Así mismo, para llevar un control del tiempo se tiene en cuenta al reloj RTC DS3231 para conocer la fecha y hora (Ver Figura 25).

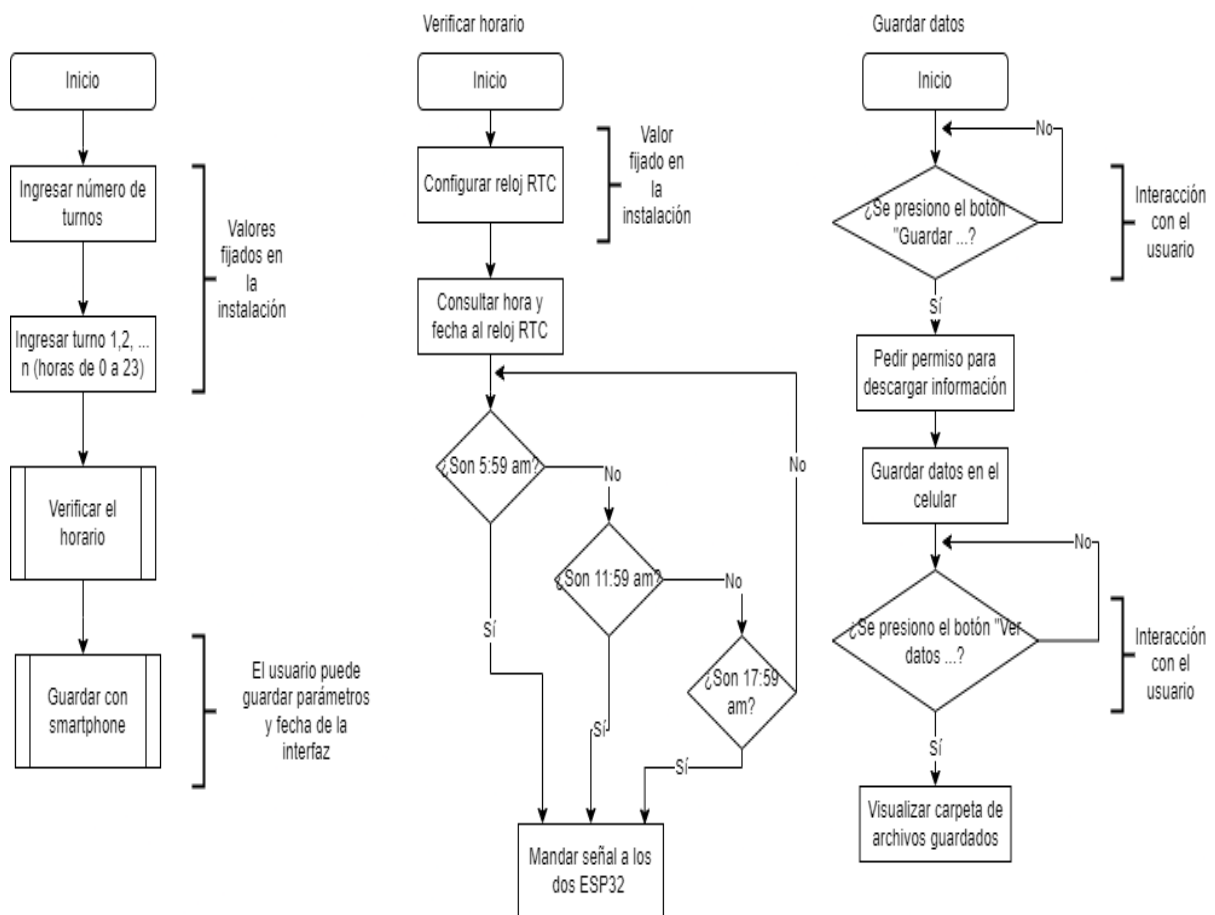


Figura 25. Diagrama de flujo del horario para alimentar a las truchas

Nota. Elaboración propia

Actualmente, existen estos tres horarios por la temperatura y brisas que empiezan a partir de las 6 pm según la entrevista al acuicultor.

4.3.2. Interfaz de usuario

Se tiene la siguiente interfaz simple donde se incluye un seguimiento de todos los parámetros y avisos para ver si las condiciones son peligrosas. Además, se hará un seguimiento sobre si se requiere rellenar la tolva y de los horarios de alimentación se obtienen por el circuito RTC y se fijan durante la instalación (Ver Figura 26).



Figura 26. Interfaz de usuario simple

Nota. Elaboración propia

Así mismo, se tiene un botón para refrescar datos y uno para guardar datos en el celular. Entonces, se guarda estos datos en la memoria del celular y en base a ellos se puede acceder a los datos que el usuario decida guardar. También, se tiene un botón para ver los datos guardados en una tabla según el horario, fecha, temperatura, pH, oxígeno disuelto, si se necesitaba rellenar la tolva y el tamaño de la trucha.

5. CAPÍTULO 5 SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

5.1. Diseño teórico

Se toma en cuenta tanto la tolva, los mecanismos de dispensación y dispersión para lograr la alimentación automática más adecuada, con lo cual es necesario hacer cálculos.

5.1.1. Ubicaciones del sistema de alimentación

Esta jaula construida con acero galvanizado y flotadores, los acuicultores usan un transporte que tolera hasta 6 personas de 70 kilogramos aproximadamente. Esta jaula mide 10 metros por 10 metros con una profundidad de 5 metros, como se muestra en la figura 27.

Además de ello, se considera la ubicación del sistema mecatrónico respecto al espacio con el que se dispone en la jaula. También se tuvo en consideración lo averiguado en el marco teórico para no sumergir el sistema y usar elementos flotadores.

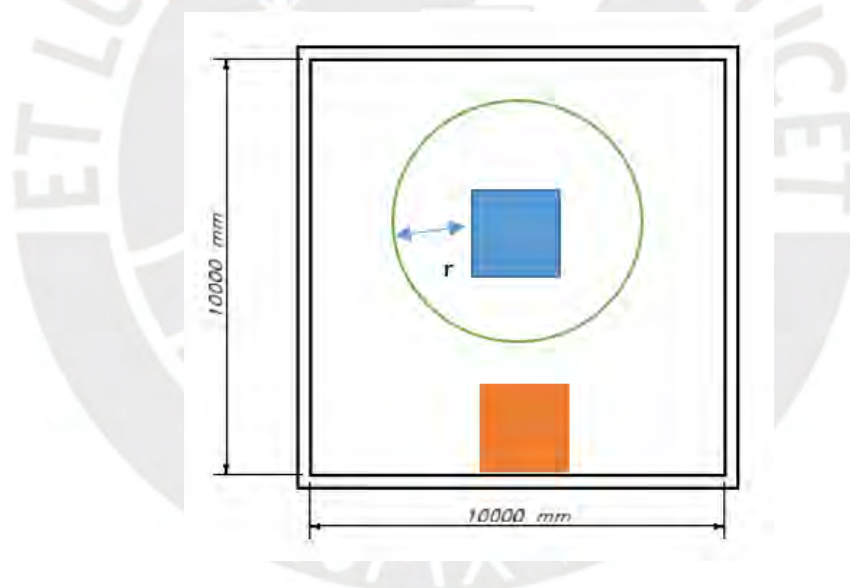


Figura 27. Ubicaciones del sistema mecatrónico dentro de la jaula

Nota. Elaboración propia

Se tuvo en consideración que se debe tener cerca al sistema para recargar la tolva y en el centro de la jaula con un mecanismo de dispersión de alimento para que sea uniforme respecto al área superficial de la jaula. Así mismo, para desplazar el sistema se toma en cuenta a lo revisado en el estado del arte: Es decir, un sistema simple de cuenta y polea en dos extremos de la jaula (Ver Figura 28).



Figura 28. Esquema referencial para el traslado del sistema.

Nota. Tomado de PANORAMA ACUICOLA MAGAZINE (2020). La ilustración corresponde a un sistema existente, en el cual se señalan mediante líneas naranjas las cuerdas empleadas para generar el desplazamiento hacia un extremo.

Las líneas naranjas representan el sistema de cuerdas (sogas) que pierden desplazar el sistema del centro a un borde la jaula y un par similar de cuerdas al otro extremo. Así mismo, se tuvo en cuenta que para estructuras sometidas a cargas de viento se suele usar 1.5 a más para el factor de seguridad de las estructuras. Luego de pensar en donde ubicar el sistema se tuvo en consideración la capacidad de carga del contenedor de alimento.

5.1.2. Capacidad de carga

Calcular biomasa

Masa de una trucha cuando son más juveniles: 90 gramos

Masa de una trucha adultas engorde: 250 gramos

Cantidad de peces: 10 mil peces

Escenario juvenil-mínimo:

$$10000 \text{ pez} \times 0.090 \frac{\text{kg}}{\text{pez}} = 900 \text{ kg}$$

Escenario engorde-máximo:

$$10000 \text{ pez} \times 0.250 \frac{\text{kg}}{\text{pez}} = 2500 \text{ kg}$$

Luego, se debe escoger el alimento (Ver Figura 29).

TIPO	Peso unitario (g)	Talla (cm)	Temperatura del Agua (°C)													
			7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Trucha 42 Crecimiento 1 (3 mm)	12.2	10	1.31	1.63	1.96	2.28	2.61	2.90	3.26	3.57	3.90	3.71	3.50	3.31	3.12	2.62
	19	11	1.19	1.49	1.78	2.07	2.36	2.66	2.96	3.25	3.54	3.36	3.19	3.00	2.83	2.38
	22	12	1.09	1.36	1.63	1.89	2.17	2.43	2.70	2.97	3.25	3.26	2.91	2.75	2.59	2.18
Trucha 42 Crecimiento 2 (4 mm)	29	13	1.07	1.30	1.62	1.86	2.12	2.37	2.64	2.90	3.17	3.00	2.84	2.68	2.52	2.13
	35	14	1.04	1.29	1.55	1.80	2.06	2.31	2.57	2.82	3.07	2.92	2.77	2.61	2.45	2.07
	43	15	0.97	1.20	1.45	1.68	1.91	2.16	2.39	2.93	2.87	2.73	2.58	2.43	2.29	1.93
	50	16	0.91	1.13	1.35	1.57	1.79	2.02	2.24	2.46	2.69	2.56	2.41	2.28	2.15	1.81
	62	17	0.86	1.06	1.27	1.48	1.69	1.89	2.11	2.32	2.52	2.40	2.27	2.15	2.02	1.70
Trucha 40 Engorde Acabado/ pigmentado	72	18	0.80	0.90	1.20	1.39	1.59	1.78	1.98	2.18	2.37	2.26	2.14	2.02	1.89	1.60
	92	19	0.76	0.94	1.13	1.32	1.50	1.69	1.87	2.07	2.25	2.14	2.03	1.90	1.79	1.51
	100	20	0.72	0.89	1.07	1.25	1.43	1.60	1.78	1.96	2.14	2.03	1.92	1.81	1.70	1.44
	124	21	0.69	0.85	1.02	1.19	1.36	1.53	1.69	1.86	2.04	1.93	1.82	1.72	1.62	1.37
	143	22	0.66	0.81	0.97	1.13	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94	1.84	1.74	1.65	1.55	1.31
	153	23	0.63	0.78	0.93	1.08	1.24	1.40	1.55	1.70	1.85	1.76	1.67	1.57	1.48	1.25
	172	24	0.60	0.75	0.89	1.04	1.19	1.34	1.48	1.63	1.77	1.69	1.60	1.51	1.42	1.20
	200	25	0.58	0.62	0.86	1.00	1.13	1.28	1.42	1.56	1.70	1.62	1.53	1.45	1.36	1.14
	231	26	0.56	0.69	0.82	0.96	1.09	1.24	1.37	1.50	1.64	1.56	1.48	1.39	1.31	1.10
	261	27	0.53	0.66	0.79	0.92	1.05	1.19	1.32	1.45	1.58	1.50	1.42	1.34	1.26	1.06
	307	28	0.52	0.64	0.76	0.89	1.01	1.15	1.27	1.40	1.52	1.45	1.37	1.30	1.22	1.02
	333	29	0.50	0.62	0.74	0.86	0.96	1.10	1.23	1.35	1.47	1.40	1.32	1.25	1.18	0.99
	355	30	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95	1.06	1.19	1.30	1.42	1.35	1.28	1.21	1.13	1.13
	382	31	0.47	0.58	0.69	0.80	0.92	1.03	1.14	1.26	1.38	1.31	1.24	1.16	1.09	0.92
	417	32	0.45	0.56	0.67	0.78	0.89	1.00	1.10	1.22	1.33	1.27	1.20	1.12	1.06	0.89

Figura 29. Tabla de porcentaje de alimento por características

Nota. Tomado de Cuarite (2015)

Dosificación por peso y temperatura

Tomando en cuenta mayor y menor valor posible para 92 gramos y el mayor posible para 261 gramos

Para 92 gramos y una temperatura del agua de 15 °C: 2.25%

Para 261 gramos y una temperatura del agua de 15 °C: 1.58%

Para 92 gramos y una temperatura del agua de 7 °C: 0.76%

Para 261 gramos y una temperatura del agua de 7 °C: 0.53%

Calcular la cantidad de alimento diaria

Para 92 gramos y una temperatura del agua de 15 °C: 2.25%

$$900\text{kg} \times 2.25\% = 20.25\text{ kg}$$

Para 261 gramos y una temperatura del agua de 15 °C: 1.58%

$$2500\text{ kg} \times 1.58\% = 39.5\text{ kg}$$

Para 92 gramos y una temperatura del agua de 7 °C: 0.76%

$$900\text{ kg} \times 0.76\% = 6.84\text{ kg}$$

Para 261 gramos y una temperatura del agua de 7 °C: 0.53%

$$2500\text{ kg} \times 0.53\% = 13.25\text{ kg}$$

Valores extremos

Valor mínimo: 6.84 kg

Valor máximo: 39.5 kg

Entonces, se tiene que en tres turnos se les debe proporcionar entre 2.28 kg y 13.17 kg; por lo cual, una tolva de proveer al menos 3 días con una disposición máxima de alimento se necesita 118.5 kg.

En base a la entrevista, se le brinda entre 6 a 9 kilos por día; en ese sentido se puede volver a conversar con los clientes, se tomará como base 10 kilos por día. Además, se recomienda alimentar a las truchas 3 veces al día para la etapa de crecimiento entre 90 gramos a 250 gramos.

En base a lo anterior, se puede tener una capacidad de 80 y 120 kilogramos en la tolva para cubrir alrededor de 7 días de alimentación. Y considerando el rango de densidad se requiere el siguiente volumen como mínimo.

$$V_{Tolva} = \frac{118.5}{1000} m^3 = 118.5\text{ litros}$$

$$V_{Tolva} = \frac{118.5}{750} m^3 = 158\text{ litros}$$

5.1.3. Material y dimensiones para la tolva

Se tiene un primer dimensionamiento basado en las condiciones del usuario final y en base a la jaula flotante existente en el lago Titicaca, por lo cual, lo primero es tener dimensiones generales que sirvan en la elaboración del modelo 3D propuesto como sistema integrado en la sección 7.

Forma de la tolva

El diseño de la tolva se basa en las configuraciones más utilizadas en el estado del arte para almacenamiento y/o dosificación de alimento para diferentes peces o mariscos, adoptando una geometría cilíndrica en la parte superior y cónica invertida en la inferior. Esta geometría tiene sus ventajas al permitir un mayor volumen de almacenamiento y estabilidad estructural, además garantiza el flujo continuo de alimento y reduce riesgos de atascamiento en la base del contenedor (tolva). La combinación de ambas formas disminuye la resistencia al viento y contribuye al equilibrio.

Materiales para la tolva

Se propone el uso de materiales livianos y resistentes a la corrosión, como planchas de aluminio y plástico reforzado con fibra de vidrio, considerando la viabilidad de acero inoxidable, polietileno de alta densidad y poliuretano como componentes secundarios. Los procesos de manufactura se especifican en la sección 7.4.

Dimensiones para la tolva

La información detallada de medidas finales se encuentra en el listado de planos (Ver sección 8.1.). Se toma como referencia el rango de altura de los acuicultores (L1): 160 cm a 170 cm. Entonces considerando que la altura de una persona tiene una proporción de 8 cabezas; un brazo extendido (A1) de 2.5 cabezas y del pie hasta donde aparece el brazo (L2) una proporción de 6 cabezas (El mundo del arte, 2022). Se tiene como base las siguientes medidas: distancia A1 de 50 cm a 53.125 cm; distancia L2 de 120 cm a 127,5 cm. Así mismo, la diferencia entre altura del piso de la jaula flotante y el elemento flotador tiene un rango entre 0 y 10 cm (Ver Figura 30). Considerando que la superficie de la jaula flotante es un elemento existente metálico (Ver Figura 19) y el elemento flotador se explica a detalle en la sección 7.1.

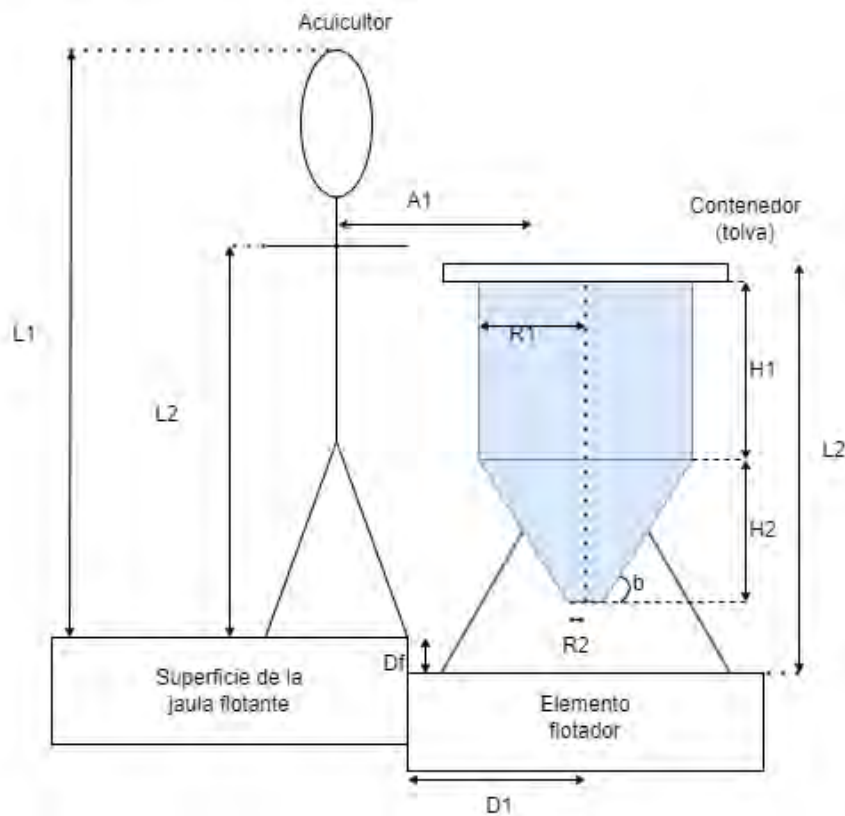


Figura 30. Dimensiones generales del contenedor y otros elementos del sistema

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se toma en cuenta que H_1 más H_2 no pueden ser más grandes que L_2 ; entonces

$$H_1 + H_2 \leq L_2 \dots \dots \dots (Cond. 1)$$

$$H_1 + H_2 \leq 127.5 \text{ cm}$$

Además, se toma en cuenta que entre el borde de la jaula flotante y el punto de ingreso de alimento de la tolva debe darse una distancia de A_1 ; entonces D_1 como máximo debe ser igual a A_1 . Por el mismo motivo, se tiene que R_1 debe ser como máximo igual a D_1 .

$$R_1 < D_1 \leq A_1 \dots \dots \dots (Cond. 2)$$

$$R_1 < 53.125 \text{ cm}$$

Así mismo, en base al estado del arte se tiene que el ángulo de la sección cónica debe estar entre 45° y 60° .

$$45^\circ \leq b \leq 60^\circ \dots \dots \dots (Cond. 3)$$

Considerando la condición 3, existe un R2 mayor a cero dado que debe fluir el alimento, entonces H2 debe ser como máximo.

$$H_2 \leq R_1 \tan(b) \dots \dots (Cond. 4)$$

Por lo tanto, el volumen del contenedor tiene como fórmula lo siguiente:

$$V = R_1^2 \pi H_1 + \frac{1}{3} H_2 \pi (R_1^2 + R_2^2 + R_1 R_2)$$

El volumen como mínimo para cubrir los requerimientos de carga del alimento es de 158 litros y se estima los valores en base a los rangos establecidos por las condiciones. Se toma como referencia que el radio de la tolva R1 es de 32.5 cm y la altura H1 es 50 cm; H2 es 25 cm y b es 45° para tener un R2 igual a 7.5 cm. Con lo cual, el volumen de la tolva es 169.20 litros sin considerar el volumen extra en la parte superior relacionada a la tapa de 8.3 litros. También se tuvo en cuenta el diámetro de salida del alimento para evitar atascamiento dentro de la tolva; con un área transversal del círculo de 176.71 cm².

Análisis de esfuerzo en las paredes

La columna de alimento que actúa sobre la zona de salida de la tolva se modela como una carga distribuida en las superficies internas (paredes cilíndrica y cónica) y como una carga puntual/equivalente sobre la sección de apertura. Para el dimensionado y la simulación se toma como referencia el estudio de Casas & Shirley (2019) —que proporciona el Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) y la distribución de presiones— y las reglas de evaluación de acciones para tolvas y silos del Eurocódigo (EN 1991-4)

$$V_a = (0.075)^2 \pi (0.75) = 0.01325 \text{ m}^3$$

Considerando una densidad de 1000 kg/m³, se tiene una masa de 13.25 kg y un peso de 130 N dada una gravedad de 9.81 m/s². Así mismo, se tiene un área de en la salida de

$$A_a = (0.075)^2 \pi = 17671.45 \text{ mm}^2$$

Con lo cual, se tiene una presión de 130/17671.45 MPa que es igual a 0.00736 MPa. Así mismo, se tiene una distribución de presiones en las paredes de los volúmenes cilíndricos y cónicos. En base a

lo desarrollado por Casas y Shirley (2019), se tiene que la mayor concentración de presiones se da en la transición entre la zona cilíndrica y la zona cónica; por lo cual, se toma como base que las paredes van a soportar 1600 N para ponerlo a prueba al máximo. Entonces, las presiones se tienen 1600 N y un área superficial del cilindro de 938573.925 mm² y un área superficial de la cónica de 370973.906 mm². El DCL corresponde a un corte longitudinal de la tolva, mostrado en forma simétrica con una línea punteada en el eje central. Este corte esquemático permite visualizar cómo se distribuyen las cargas internas sobre las paredes cilíndricas y cónicas (Ver Figura 31).

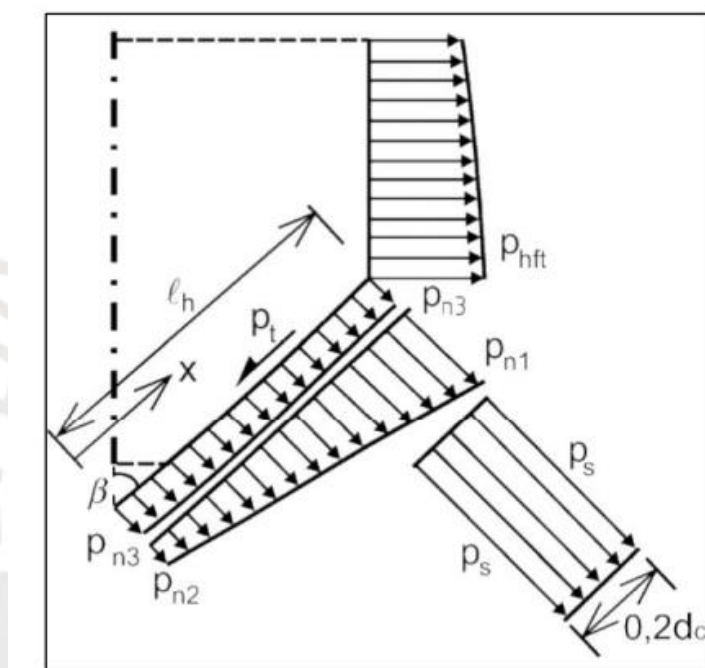


Figura 31. DCL de la tolva tomado de Casas y Shirley (2019) según las disposiciones del Eurocódigo (EN 1991-4) para tolvas y silos

Nota. Las paredes tienen una sección cónica y cilíndrica, similar a lo presentado en la figura 30, además, se para averiguar más detalles del DCL se debe ir a la referencia mencionada de Casa y Shirley (2019). La línea punteada representa un eje de simetría y es la representación simple de un tanque estándar en acuicultura (tolva).

Por lo cual, la presión en la zona cilíndrica es 0.0017 MPa y en la zona cónica una presión máxima de 0.0043 MPa. Considerando un polietileno de alta densidad con un espesor de 3 mm se tiene la siguiente imagen. En base a Casas y Shirley se aplica una fuerza distribuida sobre todas las caras internas de la tolva y se simula los esfuerzos del material. Respecto a cómo se llega a 1600 N es por la cantidad de alimento aproximado de 160 kg. Como se puede observar no existen zonas de esfuerzo

críticas; pero si se debe tener cuidado en la transición de la zona cilíndrica a la cónica y la parte que corresponde a la salida de alimentos. Por tanto, se selecciona el material mencionado, el espesor y las dimensiones con mayor detalle en planos (Ver Figura 32).

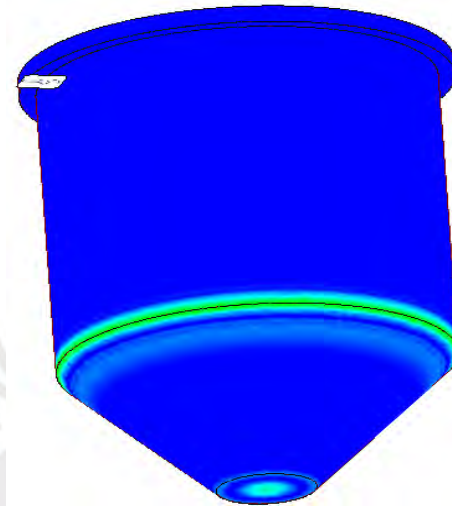


Figura 32. Presiones sobre la superficie de una tolva considerando una carga de 1600 N

Nota. Elaboración propia.

5.1.4. Mecanismo de dispensación

El mecanismo de dispensación está conformado por un tornillo sin fin, un soporte que permita su giro sobre un eje, un motor y un controlador (*driver*) adecuados. Este conjunto se acopla a la salida circular inferior de la tolva, alineándose con el conducto de descarga para garantizar un flujo uniforme del alimento. Para el diseño geométrico, se consideran las dimensiones del espacio donde se ubicará el tornillo sin fin: el largo HP_1 y el ancho DP_1 . Tomando como referencia la salida circular de la tolva, con un diámetro de 150 mm, la relación entre estas dimensiones se obtiene de la siguiente forma: $HP_1 = \sqrt{150^2 - DP_1^2}$ milímetros (Ver Figura 33).

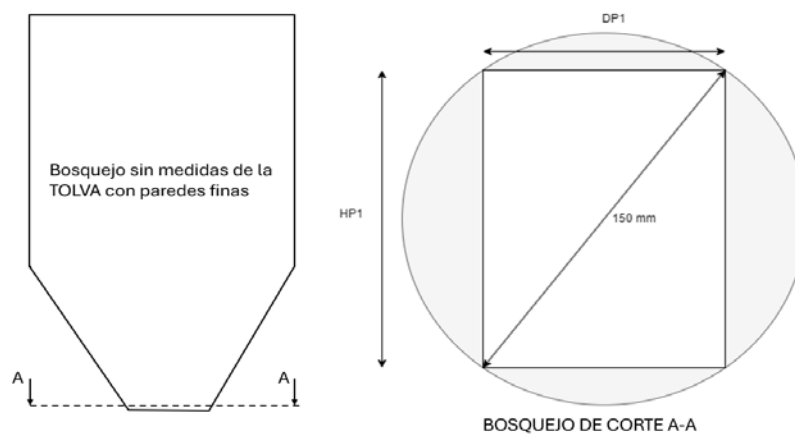


Figura 33. Dimensiones del conducto de salida de la tolva

Nota. Elaboración propia.

5.1.5. Cálculo del tornillo sin fin

Para determinar la dirección en la que se desplazará el contenido dentro del tornillo sin fin, es necesario considerar el sentido de giro de la hélice, tal como se muestra en la Figura 34.

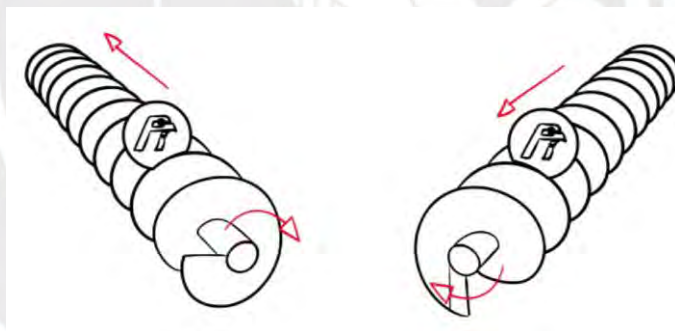


Figura 34. Sentido de giro y desplazamiento del contenido del tornillo sin fin

Nota. Tomado de Falcon Industries, Inc. (2018)

El diámetro del tornillo debe ser 12 veces mayor al diámetro del material transportado. En este caso, el diámetro del material transportado es 6 milímetros con lo cual se tiene la siguiente expresión (Ingemeconica, s/f):

$$d_e = 12 * 6 \text{ mm} = 72 \text{ mm}$$

Mientras que el paso suele ser entre 0.25 y 1.5 dependiendo de las características del material, para el caso del alimento de trucha se considera adecuado 0.25 para tener más control de la masa a dispensar (Ingemeccanica, s/f).

$$e_p = 0.25 * d_e = 18 \text{ mm}$$

Además, para la barra interna a la cual van unidas las hélices se puede tomar en cuenta varillas metálicas entre 6 y 40 mm; además esta varilla debe soportar 13.25 kilos como mínimo sin doblarse. Esto se logra considerando que a ambos extremos de la varilla se tienen soportes dejando como simplificación el siguiente modelo (Ver Figura 35).

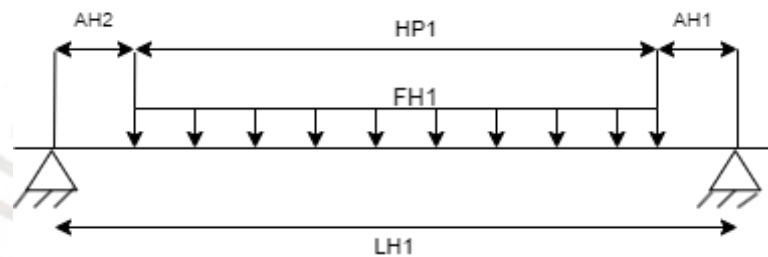


Figura 35. Diagrama de cuerpo libre de la varilla interna del tornillo sinfín

Nota. Elaboración propia

Dado que se conoce d_e igual a 72 mm, por teorema Pitágoras sabiendo el diámetro de la zona de salida se tiene que HP_1 es igual a

$$HP_1 = \sqrt{150^2 - 72^2} = 131.59 \text{ mm.}$$

Además, se tiene que la fuerza distribuida es de 13.25 kilogramos en 0.13159 metros con lo cual la fuerza distribuida FH_1 es de 100.6915 kg/m. Además, se debe considerar que los espacios AH_1 es igual al ancho de un rodamiento, el espesor de las paredes del contenedor; mientras que AH_2 es igual a 36 mm del paso de la hélice, espesor de la pared del contenedor, ancho del rodamiento. Entonces AH_1 debe tener como base un ancho del rodamiento de 20 mm como máximo y un espesor de 3 mm de las paredes. Entonces,

$$AH_{max1} = 20 + 3 = 23 \text{ mm}$$

$$AH_{max2} = 36 + 20 + 3 = 59 \text{ mm}$$

Entonces, considerando una varilla cilíndrica de acero se utiliza una simulación en Inventor para esta varilla. Una barra de acero de 10 mm de diámetro de ASTM A36 con un límite de fluencia de 250 MPa y una resistencia a la tracción de 400 a 500 MPa (AcerosArequipa, s/f). El análisis muestra que las zonas críticas alcanzan un esfuerzo máximo de 0.2408 MPa, muy inferior a la capacidad del material (Ver Figura 36).

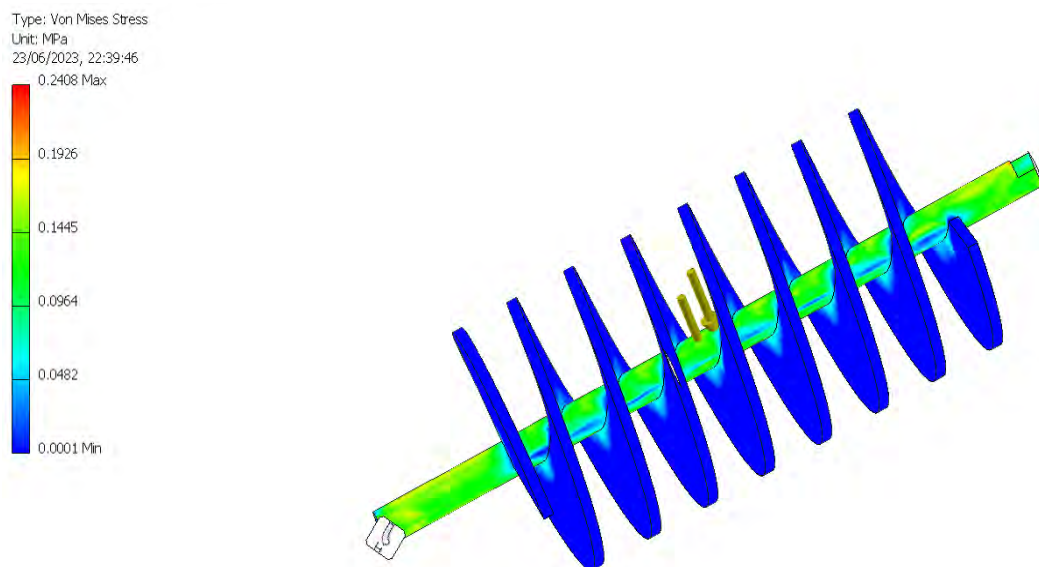


Figura 36. Esfuerzo sobre la barra central del tornillo sin fin

Nota. Elaboración propia

Así mismo, la instalación del tornillo sin fin se instala en el conductor de salida inferior de la tolva, alineado con el eje de descargar, lo que asegura el transporte controlado del alimento hacia el exterior. El tornillo se fabrica uniendo helicoides metálicos al eje central mediante procesos de soldadura y mecanizado en empresas peruanas denominadas metalmecánicas.

Cálculo del rodamiento

Para este diseño se considera una carga combinada para soportar el peso del dispensador y el peso que se debe mover con el tornillo. Entonces, se toma como base un rodamiento rígido de bolas y con una vida específica mínima de 2 años y considerando que funcione 4 horas por día se tiene una vida mínima de 3000 horas de funcionamiento. Así mismo, el aro interior puede ser menor a 17 mm con 13.25 kg para una varilla de acero (SKF, 2019). Para conocer los valores exactos que se utilizaron para

determinar el rodamiento puede ir al Anexo 17; con lo cual, se tienen los siguientes valores en base a la siguiente imagen (Ver Figura 37).

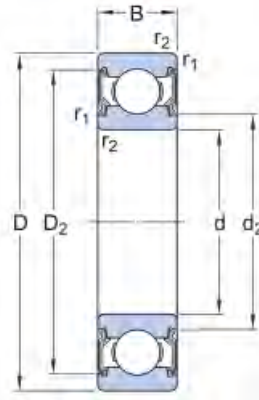


Figura 37. Dimensiones del rodamiento 6300-2RSH

Nota. Elaboración propia

Donde $d_i = d = 10 \text{ mm}$, $d_e = D = 35 \text{ mm}$ y $e_p = B = 11 \text{ mm}$ que corresponden al diámetro interno, diámetro externo y el ancho del rodamiento 6300-2RSH que tiene sellado, baja fricción, capacidad de alta velocidad, soporta cargas radiales y axiales, requieren poco mantenimiento y tienen sellos en ambos lados (SKF, s/f). Las otras dimensiones de la imagen son importantes, pero no para el diseño tratado dado que se pueden comprar el rodamiento.

Ahora que se tiene calcular de la capacidad de transporte para luego calcular el flujo de material que ligero y poco abrasivo $\lambda = 0.32$ con lo cual se conoce

$$S = \lambda \frac{\pi(d_e^2 - d_i^2)}{4}$$

Donde S es el área del relleno del transportador en metros cuadrados y λ es el coeficiente de relleno de la sección; por lo cual, S es igual a 0.001278 m^2 . Considerando un e_p igual a 0.018 m , se tiene un volumen de $2.299 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$.

Cálculo de velocidad necesaria

La velocidad de giro de los transportadores de tornillo depende de la naturaleza del material a transportar

- Materiales pesados: 50 rpm
- Materiales ligeros: menor a 150 rpm

La expresión que permite conocer la velocidad de desplazamiento en un transportador de tornillo es

$$v_{tr} = \frac{e_p * n}{60}$$

Donde v_{tr} es la velocidad de desplazamiento del transportador en m/s, e_p es el paso del tornillo en metros y n es la velocidad de giro del eje del tornillo en r.p.m. Entonces, considerando que motor Nema 23 puede funcionar de manera confiable entre 100 y 200 RPM, se considera usar 120 RPM para este caso y con un par de engranajes cónicos se puede volver a X, con lo cual (Ingemecanica, s/f):

$$v_{tr} = \frac{0.018 * 30}{60} = 0.009 \text{ m/s}$$

Cálculo de los engranajes

La cara de contacto entre los engranajes puede ir entre 10 mm a 20 mm; tomamos como base 19.70 mm. Además, se tuvo en cuenta un ángulo de presión entre 20 y 25 °; para este caso se tomó 25° y un ángulo de hélice de 0°. Así mismo; el módulo fue de 2 mm con una relación de 4 a 1 considerando que un engranaje no puede tener menos de 12 dientes; se tomó 12 dientes y el otro engranaje tuvo 4 engranajes. También se consideró como 0 la unidad de corrección y el desplazamiento tangencial para un ángulo entre ejes de 90°. Esto también se base en el torque y RPM del motor elegido.

Flujo del material

La capacidad de transporte del material se basa en flujo de material (Q), área de relleno (S), velocidad de desplazamiento (v_{tr}), densidad (ρ) y coeficiente de inclinación (i).

$$Q = 60 * S * v_{tr} * \rho * i$$

La inclinación del canal por donde se transporta el alimento para este diseño es 0° y el valor de i es 1; además se toma en cuenta el rango de densidades entre 750 y 1000 kg/m^3 (Ingemecanica, s/f).

$$Q_{min} = 60 * 1.277 * 10^{-3} * 0.009 * 750 * 1 = 0.5175 \frac{kg}{min} = 8.62 \frac{g}{s}$$

$$Q_{max} = 60 * 1.277 * 10^{-3} * 0.009 * 1000 * 1 = 0.6899 \frac{kg}{min} = 11.49 \frac{g}{s}$$

En base a esto, se calcula que para dispensar entre 2.28 kg a 13.17 kg con densidades entre 8.62 y 11.49 g/s se tiene un tiempo mínimo de 198.4 segundos y un tiempo máximo de 1527.8 segundos. Entonces el motor debe funcionar este 3.31 minutos y 25.46 minutos.

Cálculo de la potencia total y torque

Para el accionamiento del transportador de tornillo sin fin se compone de la potencia para el desplazamiento horizontal, potencia para accionamiento del tornillo. Entonces, la potencia para el desplazamiento horizontal tiene la siguiente forma

$$P_h(kW) = c_0 \frac{QL}{367}$$

Donde, Q es el flujo del material transportado, L es la longitud del transportador y c_0 el coeficiente de resistencia. El alimento de la trucha en base su tipo de material tiene un valor de c_0 entre 1.2 y 2.5 ; consideremos el escenario de mayor resistencia. Considerando Q_{max} en toneladas por hora y la medida de la varilla ajustada al ancho del rodamiento en metros se aplica la fórmula de (Ingemecanica, s/f):

$$P_{hmax}(kW) = 2.5 * \frac{(0.04139)(0.196)}{367} = 0.0552 \text{ W}$$

La potencia para el accionamiento del tornillo en vacío se considera una aproximación aceptable para esta investigación.

$$P_n(kW) = \frac{D \cdot L}{20}$$

Donde D es el diámetro externo de la sección y L es la longitud del transportador en metros.

$$P_{nmax} = \frac{0.072 * 0.196}{20} = 0.7056 \text{ W}$$

Dado que conocemos las RPM a las que va funcionar el motor, tenemos que el torque necesario se halla con (ExtruDesign, 2022)

$$T_{max} = \frac{60 * P_{tmax}}{2\pi * RPM_t}$$

Donde P_{tmax} es la suma de las potencias halladas 0.0552 y 0.7056 W con lo cual $P_{tmax} = 0.7608 \text{ W}$ y RPM_t es 120 RPM, entonces el torque máximo requerido T_{max} es 0.0605 Nm.

5.1.6. Mecanismo de distribución

En la zona norte del lago Titicaca donde se ubica el proyecto no existen fuertes vientos, según Aguirre (2009) suele estar a 0.01 m/s en la superficie del agua con profundidades menores a 50 metros; aunque en general suelen ser aguas calmadas y en etapas de fuertes vientos llega hasta 1 m/s (OAS, s/f).

Cálculo de distancia para tener dispersión

Se tuvo en cuenta que el radio donde se debe distribuir el alimento (D_e) debe ir entre 1.5 y 3.5 metros. Con lo cual, se debe tener en cuenta el ángulo (d) y considerando que existe poco viento (Ver Figura 38).

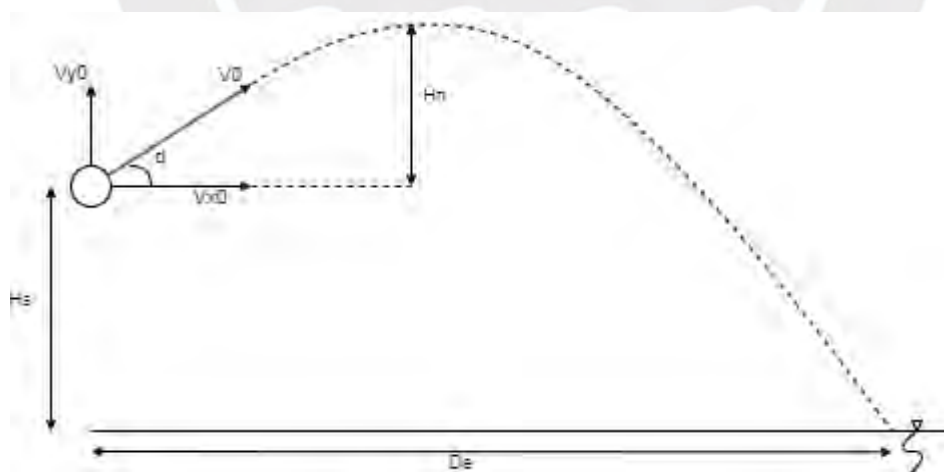


Figura 38. Rango de distribución del alimento

Nota. Elaboración propia

Entonces, consideremos un escenario que donde el De es 2.5 metros, se debe calcular tanto la velocidad inicial como el ángulo más adecuado. Basado en cinemática de un proyectil tenemos que

$$D_e = v_{x0} * t$$

$$v_{x0} = \cos(d)v_0$$

$$H_n = \frac{v_0^2 \sin^2(d)}{2g}$$

Donde D_e es la distancia entre el punto de disparo y el punto de llegada al agua, v_{x0} es la velocidad inicial en el eje x, t es tiempo, d es ángulo de disparo, v_0 es la velocidad inicial, H_n es la altura máxima alcanzable y g es gravedad. Se conoce que para tener el punto de contacto entre el alimento de trucha y la superficie del agua se puede considerar 0.5 metro para evitar problemas que afecten al motor causados por el agua con lo cual H_n no debe ser mayor a 25 cm. Además, se tiene que el ángulo “d” varía entre 0° y 45° . En base a lo anterior se puede tomar un ángulo de 30° y determinar la velocidad inicial y el tiempo que tomaría ir llegar hasta la superficie del agua. Bajo este rango de valores, velocidad inicial 4.85 m/s considerando que el aumento del ángulo disminuye la velocidad inicial.

Cálculo de velocidad necesaria

Basado en la velocidad tangencial dada una velocidad angular y una conservación de momentos dada una masa máxima (m_0) de 12 gramos que entren en contacto con la superficie de la paleta, se tiene lo siguiente

$$m_{p1}v_{p1} = m_0v_0$$

$$v_{p1} = \omega_{p1}R_{p1}$$

Además, en un punto en concreto se tiene que m_{p1} es igual área de contacto con la superficie que para 12 gramos considerando las dimensiones del alimento para trucha tiene un volumen de $1.2 \cdot 10^{-5}$ que equivale a 55.56 bolitas de alimento que equivalen a 2000 mm^2 y considerando que las paletas tienen un espesor de 3 mm se tiene un volumen de la paleta de 6000 mm^3 . Considerando que sea un acero de tiene una densidad entre 7750 y 8050 kg/m^3 , la masa final m_{p1} es de 48.3 gramos.

Reemplazando valores se tiene que

$$48.3 * v_{p1} = 12 * 4.85 \rightarrow v_{p1} = 1.205 \text{ m/s}$$

Considerando que debe tener un contacto mínimo de 2000 mm^2 que equivale a tener un lado de 16 mm y otro de 125 mm como mínimo. Con lo cual, se toma que la distancia sea de 125 mm y el lado de la paleta se ajusta en base al ángulo (d) y el tamaño del eje a considerar.

Por lo tanto, la velocidad mínima que se requiere es de 9.64 rad/s o 92.06 RPM . Con lo cual, con un motor que tenga más de 92 RPM se cumple este requerimiento.

Cálculo de torque necesario

Considerando que 12 gramos de alimento se distribuyan uniformemente sobre la superficie de la paleta se toma como fuerza equivalente a uno que se ubica en el centro de la paleta, alternativamente también se considera que pueda existir una concentración de carga en un extremo de la paleta. Además, como mínimo la fuerza que tengan en su contacto debe ser como mínima la suficiente para evitar que sigan cayendo por la gravedad (Ver Figura 39).

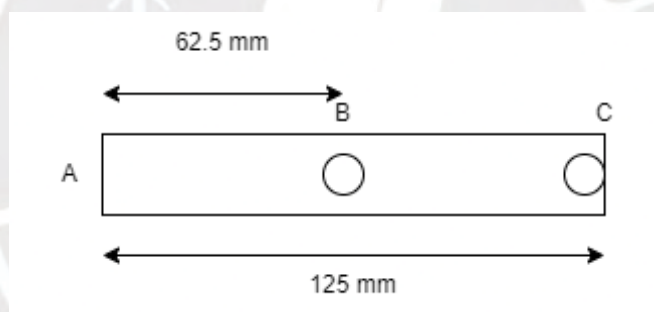


Figura 39. Posiciones consideradas como críticas para la paleta

Nota. Elaboración propia

Entonces, considerando la fórmula de torque se tiene

$$\tau_{pa} > m_0 * g * d_{pa}$$

Donde τ_{pa} es el torque mínimo, m_0 es la masa del alimento en un segundo y d_{pa} es la distancia entre el alimento y el eje donde se genera el movimiento angular. Reemplazando valores se tiene que el torque mínimo para cubrir todos los escenarios posibles es $\tau_{pa_min} = 0.0147 \text{ Nm}$.

5.2. Dominio mecánico

Material: Acero galvanizado; este material se usa para la estructura general de las jaulas flotantes; con lo cual tienen un tiempo de vida similar para dar mantenimiento junto con el resto de la jaula.

Se hace un análisis de esfuerzos para la estructura metálica y se toma en cuenta mecanismos para lograr la dosificación de alimento.

5.2.1. Soportes y uniones internas

Para las uniones más pequeñas se usarán tornillos estándar y para unir los perfiles se toma en cuenta soldadura y tornillos. En general, se usó tornillos DIN en ISO 1207 con un diámetro de M6 y una longitud de 8 milímetros. Así mismo, se tuvo en cuenta operaciones de soldadura en caso de no usar tornillos; los tornillos principalmente para tapas o elementos desmontables.

5.2.2. Selección del mecanismo de dispersión

Para distribuir el alimento entre 2 metros y 3 metros respecto al punto de donde sale el alimento se debe tomar en consideración el ángulo del elemento contenedor, la velocidad y torque del motor, el drive adecuado para el motor. Luego este conjunto de elementos debe unirse a la estructura metálica que soporta la tolva (Ver Figura 40).

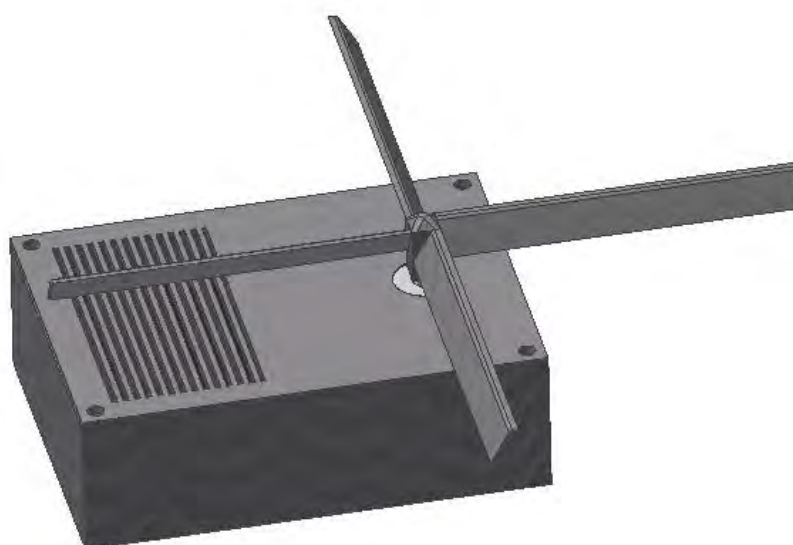


Figura 40. Mecanismo y actuador para el distribuidor de alimento de truchas.

Nota. Elaboración propia

5.2.3. Selección del mecanismo de dosificador

Se consideró que la pérdida de precisión al emplear una balanza podía ser compensada mediante el control de los pasos del motor, así como por los antecedentes revisados. Asimismo, se tomó como referencia un mecanismo de tornillo transportador para el escalamiento del sistema. Dado que la base presenta una geometría sinuosa y con poca estabilidad, no resulta viable implementar un sensor de peso o presión con la exactitud requerida. En consecuencia, se optó por establecer una relación de escalamiento entre el número de vueltas del tornillo sin fin y la cantidad de alimento dispensado desde la tolva. La Figura 41 muestra un corte esquemático que permite visualizar los componentes internos del dosificador. Para clarificar el funcionamiento del dosificador, revise la sección 5.4.2., se muestra la secuencia operativa del tornillo sin fin. Se observa cómo el motor acciona la varilla central, lo que provoca el transporte helicoidal del alimento desde la tolva hasta la salida. Cada vuelta del tornillo corresponde a un volumen de alimento desplazado, lo que permite controlar la dosificación mediante el número de pasos programados en el motor.



Figura 41. Dosificador del alimento – vista de corte para ver componentes

Nota. Elaboración propia

5.2.4. Soportes y uniones externas

Se usa un perfil cuadrado que facilita procesos de unión entre perfiles como soldadura para acero galvanizado. En general, tomando en cuenta estos elementos se tiene el siguiente modelado 3D para las barras rectangulares DIN 59 410 de 50x30x2.9 mm. Esta fue la alternativa encontrada ante la disposición de elementos en diferentes alturas. Se utilizó una vista frontal, dos cortes transversales y una vista isométrica, lo que permite observar con claridad la disposición de los componentes y sus detalles internos. Respecto a las uniones, se optó por emplear soldadura en los perfiles de acero galvanizado, asegurando la rigidez estructural y la estabilidad necesarias para soportar la tolva y el sistema de dosificación. A continuación, se muestra la estructura metálica para soportar la tolva (Ver Figura 42).

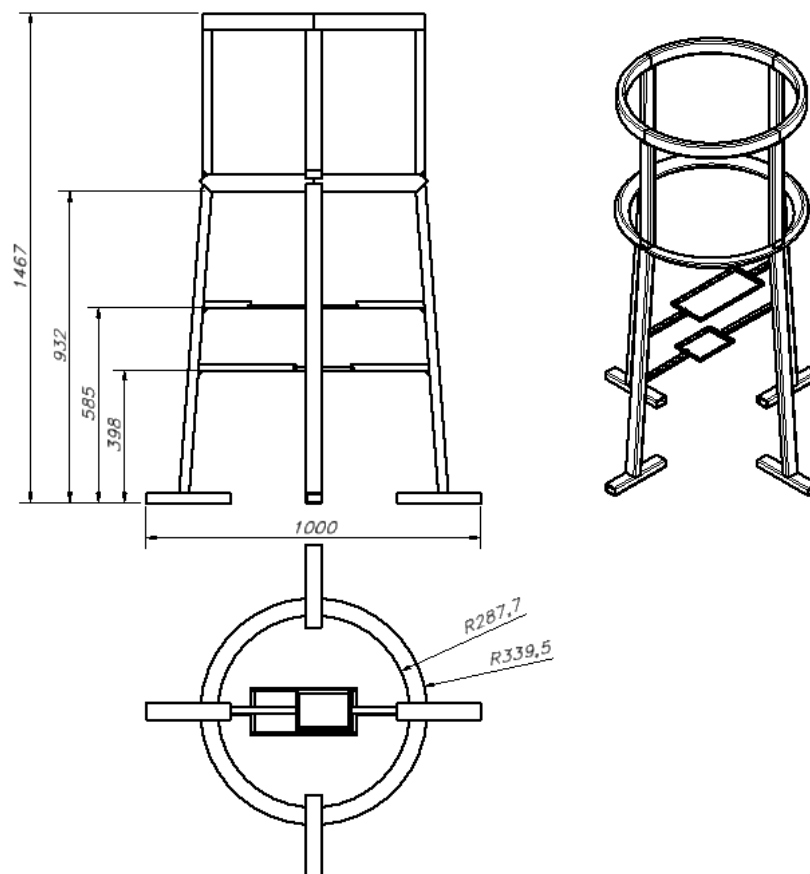


Figura 42. Estructura metálica que soporta la tolva

Nota. Elaboración propia

Para más detalles del proceso de manufactura revisar la sección 7.4 donde se detallan los procesos de manufactura asociados a la figura 42. En el presente diseño no se elaboró un Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) de manera manual, dado que el análisis de esfuerzos y reacciones se realizó directamente en el software Autodesk Inventor. Este programa permitió simular las condiciones de carga, apoyos y uniones de la estructura, obteniendo de manera precisa la distribución de tensiones y deformaciones en los perfiles. Respecto a las uniones, se emplearon uniones soldadas, las cuales fueron modeladas como contactos rígidos en la simulación. El análisis de estas uniones se centró en la validación de esfuerzos admisibles del material y la rigidez de la estructura, lo que asegura la integridad del conjunto.

5.2.5. Análisis de esfuerzos de las zonas críticas

El análisis estructural se enfocó en las barras diagonales de la estructura, debido a que en ellas se concentra la mayor carga. Estas barras, fabricadas en acero galvanizado y con sección hueca cuadrada de 3 mm de espesor y longitud aproximada de 1 m, están dispuestas a un ángulo cercano a 175° respecto a la vertical (dirección de la gravedad), lo que las convierte en los principales elementos resistentes del armazón (Ver Figura 43).

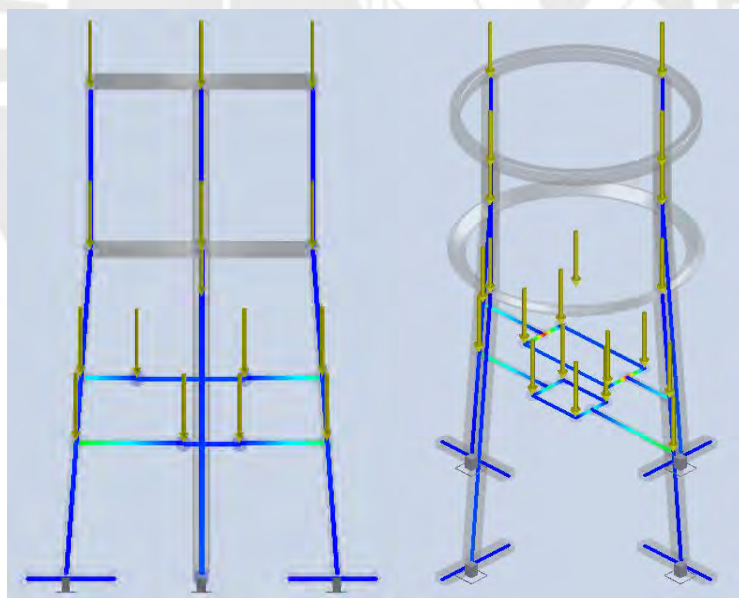


Figura 43. Análisis de la estructura metálica que soporta la tolva y los componentes resaltando los componentes que soporta más esfuerzo

Nota. Elaboración propia

Para determinar la zona crítica se utilizó el método de análisis por elementos finitos (FEA) en Autodesk Inventor, considerando una carga distribuida de 120 kg de alimento más 20 kg de peso propio de la estructura. Los resultados mostraron que las barras internas en T alcanzan simultáneamente los valores más altos de tensión normal máxima (S_{max}): 113.4 MPa. En caso de las barras diagonales respecto el flotador tiene un momento flector máximo (M_y): 35 468 N·mm.

Esto las convierte en los elementos más exigidos de la estructura, por lo cual se clasifican como zonas críticas. Las simulaciones indican que las barras trabajan principalmente a compresión axial, pero también soportan momentos debido a su inclinación. A pesar de ello, las tensiones obtenidas son bajas en comparación con la resistencia del acero galvanizado (aprox. 250 MPa de fluencia), lo que garantiza un factor de seguridad elevado y confirma que el diseño está sobredimensionado.


5.3. Dominio eléctrico

Se tiene en cuenta a los actuadores, sensores y controladores para que la alimentación sea resuelta. Además, se toma en cuenta los cálculos desarrollados como base para la elección de componentes.

5.3.1. Selección del actuador

Se toma en cuenta que en base a programación se puede establecer la cantidad de vueltas del motor. Para esto se tiene como potenciales generadores de movimiento giratorio a las siguientes opciones (Ver Tabla 16):

Tabla 16. Selección de motor a grandes rasgos




Opciones	Motor NEMA	Servomotor	Motor DC de 12 V
Criterios de comparación			
Tipo de motor	Motor de pasos	Motor de control	Motor de corriente continua
Tamaño	Generalmente grande	Varía en tamaño	Varía en tamaño
Control de	Requiere	Incorporado	Requiere controlador

posición	controlador		
Retroalimentación	No tiene retroalimentación	Retroalimentación precisa	No tiene retroalimentación
Precisión	Alta precisión	Alta precisión	Precisión variable
Velocidad	Relativamente baja	Alta velocidad	Variable
Par de torsión	Alto	Variable	Bajo
Reversibilidad	Sí	Sí	Sí
Aplicaciones típicas	Impresoras 3D, máquinas CNC	Robótica, automatización industrial	Ventiladores, juguetes, pequeños proyectos

Nota. Elaboración propia

Se tuvo en cuenta que se tiene un control por software tanto en cantidad de vuelta como en tiempo para optar por el motor paso a paso. Así mismo, no se requiere ni muy altas RPMs ni muy alto torque; por lo cual se considera adecuado para esta investigación este motor (Ver Tabla 17).

Tabla 17. Selección de motor paso a paso

Opciones	Motor NEMA 17	Motor NEMA 23	Motor NEMA 34
Criterios de comparación			
Voltaje	12-24 V	24-48V	24-48V
Corriente	1-2 A	1-2 A	1-2 A
Torque	0.4 a 0.7 Nm	1.2 a 2.5 Nm	3 a 8 Nm
Tiempo de vida	10 mil a 20 mil horas	10 mil a 20 mil horas	10 mil a 20 mil horas
Peso	200 a 400 g	600 a 1200 g	1.5 a 3 kg
Dimensiones	42x42 mm	57x57 mm	86x86 mm
Velocidad	100 a 300 RPM	100 a 300 RPM	50 a 200 RPM
Precisión por paso	1.8° (200 pasos/rev)	1.8° (200 pasos/rev)	1.8° (200 pasos/rev)


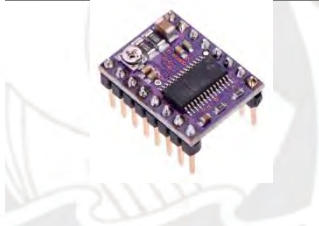

Nota. Elaboración propia

El torque requerido es de 0.0605 N·m, calculado en la sección 5.1.5. Incluso considerando un factor de seguridad de 10, el valor resultante sigue siendo menor que el torque máximo del motor NEMA 17 (0.7 N·m). Además, el sistema demanda velocidades cercanas a 100 RPM, rango en el que el NEMA 17 puede operar manteniendo el mismo tiempo de vida útil y precisión. Por estas razones, se justifica la elección del motor NEMA 17 para la aplicación.

5.3.2. Selección del driver del motor

Para unir el motor al tornillo sin fin se usan dos engranajes, mientras que para unir el otro generador de movimiento giratorio a las paletas dentro del contenedor es directo con una unión simple al eje dado la característica acoplable del eje del motor (Ver Tabla 18).

Tabla 18. Selección del driver para el motor

Opciones	A4988	DRV8825	TB6600
Criterios de comparación			
Tamaño (mm)	20x15x11	20x15x11	96x56x33
Control de posición	Requiere controlador	Requiere controlador	Requiere controlador
Retroalimentación	No tiene	No tiene	No tiene
Precisión (pasos)	1	1	1
Velocidad (RPM)	Hasta 2000	Hasta 2500	Hasta 2000
Par de torsión (Nm)	1.5	1.5	3
Corriente máxima (A)	2	2.5	4.5
Voltaje de entrada (V)	8 a 35	8.2 a 45	12 a 48




Nota. Elaboración propia

Se toma en cuenta que el un voltaje entre 12 y 24 VDC, con el menor consumo de corriente para lograr el mismo objetivo y dado que no se tiene más retroalimentación que lo indicado por el controlador se opta por el TB6600; también se tiene en cuenta las condiciones ambientales.

5.3.3. Selección del controlador

Para gestionar la información de esta parte se tiene en cuenta un microcontrolador simple que tome en cuenta a los dos elementos giratorios y a la energización que proviene del subsistema de energización (Ver Tabla 19).

Tabla 19. Selección del microcontrolador

Opciones	Raspberry Pi Zero	Arduino Uno	ESP32
Criterios de comparación			
SoC	ARM1176JZF-S 1 GHz	ATmega328 16 MHz	Dual core, 240 MHz
Set de instrucciones	ARMv7 - A	Arduino IDE	Arduino IDE
RAM	512 MB SDRAM	2 KB	520 KB
Almacenamiento	MicroSD	32 KB flash	4 MB flash
Conectividad	Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet	No	Wi-Fi, Bluetooth integrados
Precio relativo	150 a 200 soles	60 a 100 soles	35 a 60 soles
Tamaño	Pequeño	Pequeño	Pequeño
Voltaje	5V	5V	3.3V
Corriente	140 mA sin periféricos	50 mA sin periféricos	80 a 260 mA según la velocidad del reloj
Programación	Python, C, C++	Arduino IDE	Python, C, C++, Arduino IDE


Nota. Elaboración propia

Dado que el ESP32 puede unirse a una red WiFi, entonces se puede usar para conectarlo al otro ESP32 y luego con la antena externa que se pueda instalar se puede mandar y recibir información.

5.3.4. Selección del sensor capacitivo

Dado que se requiere un indicador de cuando rellenar la tolva, se tiene en cuenta sensores capacitivos de diferentes tipos, estos se resumen en la tabla 20:

Tabla 20. Selección del microcontrolador

Opciones	LJC18A3-10-Z/AY	LJC18A3-H-Z/BX	LJA183-5-Z/BX
Criterios de comparación			
Voltaje	6-36 V	6-36 V	6-36 V
Corriente de trabajo	300 mA	300 mA	200 mA
Distancia de detección	10 mm	10 mm	5 mm
Salida	NPN	NPN	NPN
Tipo de cable	Conector axial	Conector axial	Conector axial
Material del cuerpo	Metal	Objetos	Metal
Rango de temperatura	-25°C a 70°C	-25°C a 70°C	-25°C a 70°C
Rango de precio	50 a 80 soles	50 a 80 soles	40 a 60 soles

Nota. Elaboración propia

Se tiene como base que se debe buscar sensores que permitan detectar la presencia de alimento; dado que se tiene el sensor en la pared de la tolva, el alimento está a menos de 10 mm. Pero para este caso se toma en consideración el LJC18A3-H-Z/BX.

5.3.5. Conexión de componentes

La conexión será en base a una red WiFi que establezca el ESP32 del subsistema monitoreo y el ESP32 del subsistema de alimentación se conecta a esta red. Alternativamente, se puede usar cables

y usar un Arduino UNO en caso de elegir una opción alámbrica. Para ver el esquemático de las conexiones debe ir al anexo 14.

5.4. Dominio de software

El pseudocódigo se encuentra en anexo 11 y se basa en controlar las vueltas del motor en base al tamaño de la trucha y la temperatura monitoreada con un ajuste en base a la entrevista de los acuicultores de Puno.

5.4.1. Diagrama de flujo de funcionamiento

Para el dispensador se tiene en consideración el siguiente diagrama de flujo con funciones desarrolladas para la dosificación de alimento basado en los cálculos teóricos y la recolección de temperatura, horario de alimentación y tamaño (Ver Figura 44).

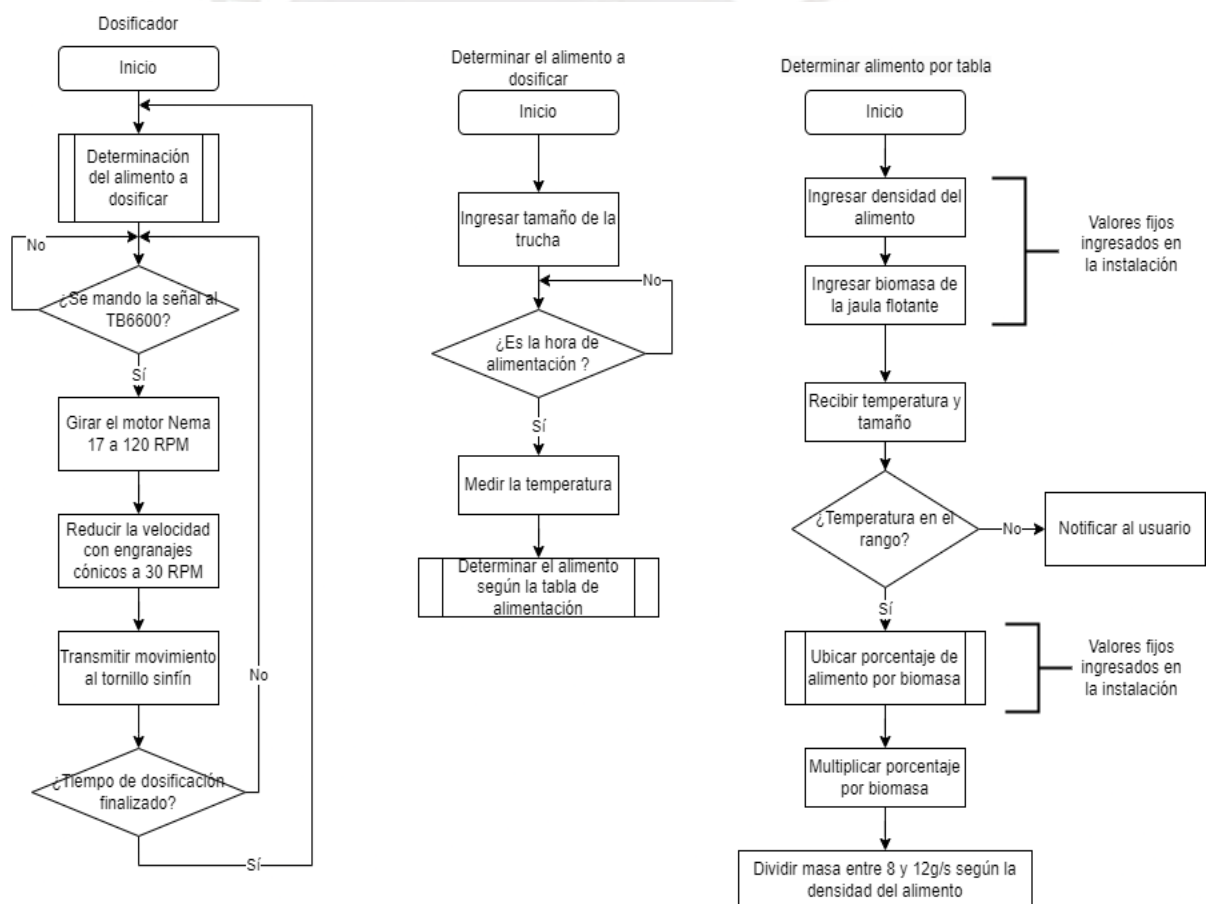


Figura 44. Diagrama de flujo del dispensador con sus funciones desarrolladas

Nota. Elaboración propia

La tabla de alimentación utilizada corresponde a la Figura 29, en la cual se especifica la ración óptima de alimento en función de la longitud de la trucha y la temperatura promedio del agua. A partir de esta referencia, se parametrizan los valores de entrada que el sistema requiere durante la instalación, tales como la biomasa de la jaula y la densidad del alimento suministrado. Por ejemplo, de acuerdo con la encuesta realizada al principal interesado, se tiene una biomasa aproximada de 10 000 truchas en etapa de crecimiento, distribuidas en tres turnos de alimentación diarios (ver Figura 45).

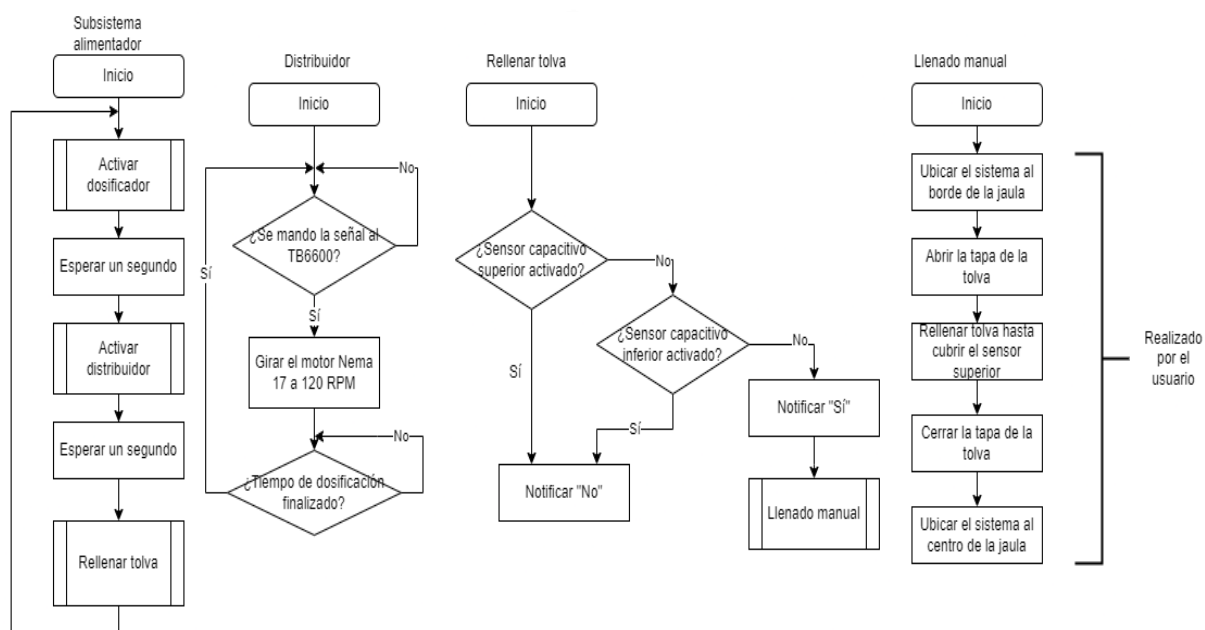


Figura 45. Diagrama de flujo del subsistema alimentador y del mecanismo distribuidor

Nota. Elaboración propia

Para el subsistema principalmente se tiene la función del dosificador explicado en la figura 45 y se tiene las funciones del distribuidor y rellenar tolva al lado del flujo principal. En este subsistema se da la mayor intervención del usuario u operario que cuida las jaulas flotantes. Esto implica que se reduce la cantidad de usuarios que se necesitaban respecto al proceso inicial, pero aun así se requiere al menos un operario que rellene la tolva cómo máximo cada tres días.

5.4.2. Funcionamiento del dosificador – tornillo sin fin

6. CAPÍTULO 6 SUBSISTEMA DE ENERGIZACIÓN

6.1. Diseño teórico

Este cálculo teórico principalmente abarca tanto el consumo de potencia de todos los subsistemas y la distribución de pesos sobre el elemento flotador.

6.1.1. Cálculos de requerimientos energéticos

Se tiene en cuenta que dada la ubicación del proyecto no se cuenta con conexión a la red eléctrica, con lo cual, se tiene como base a un panel solar y sus complementos para tener funcionando a los componentes.

Consumo de potencia

Empezamos conociendo la cantidad de energía que se requiere dada en potencia por hora (Ver Tabla 21).

Tabla 21. Tabla de consumo energético

Cantidad	Componente	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo de uso (min)	Potencia por hora (Wh)
2	Sensor capacitivo	12	20	25.46	0.20368
2	Motor Nema 17	12	3000	25.46	30.552
2	Driver TB6600	1.2	3000	25.46	3.0552
2	Ventiladores	12	0.18	25.46	0.00183312
2	ESP32 con WiFi activo	5	240	1440	57.6
1	Reloj RTC	5	0.005	1440	0.0006
1	Sensor temperatura	5	1.5	25.46	0.0031825
1	Sensor de OD	5	5	25.46	0.010608333
1	Sensor de pH	5	5	25.46	0.010608333
2	Regulador de voltaje	n=92%			4.60999933
	TOTAL				96.04771222

Nota. Elaboración propia

Si sumamos todos se tiene un consumo de 96.05 Wh y considerando de 4 a 5 horas solar pico en lago Titicaca en la zona de interés del proyecto. Así mismo, considerando que se pierde potencia por las condiciones adversas como muchas nubes, temperatura, inclinación, suciedad y otros se debe considerar entre 22% de eficiencia para los paneles.

$$\frac{96.05 \text{ Wh}}{5 \text{ h} * 0.22} = 87.318 \text{ W}$$

Considerando que se tiene el regulador de carga MPPT tiene una eficiencia en la transmisión de energía de 90% se requiere $\frac{87.318 \text{ W}}{0.9} = 97.02 \text{ W}$.

Entonces, con un panel de 100 W se cubre el requerimiento energético y el resto puede almacenarse en una batería gracias al regulador de carga solar. Para no tener problemas con el uso; se tendrá la batería de 12V a media carga para suplir energía en caso se necesite durante la instalación.

6.2. Dominio mecánico

Las dimensiones se basan en lo publicado por la empresa Autosolar, para cubrir 100 W se tuvo en consideración dos paneles de 50W para abarcar menos espacio y que sea más montable al sistema (Ver Figura 46).

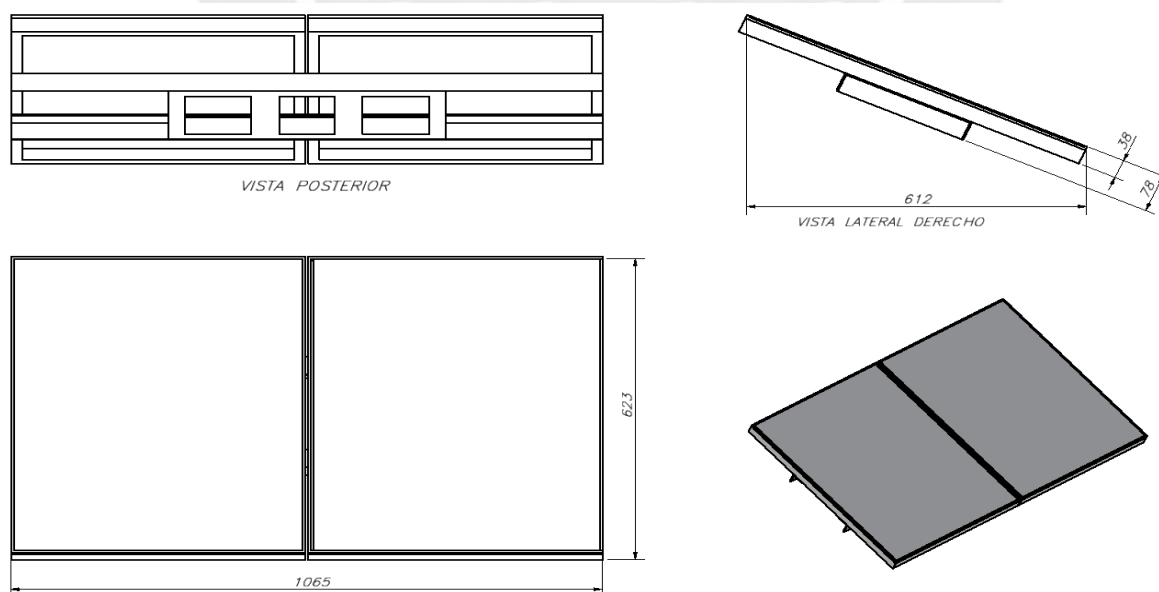


Figura 46. Vista isométrica, posterior, lateral e inclinada del panel solar

Nota. Elaboración propia

Considerando lo anterior las dimensiones generales son de 1112x653x20 mm con un peso de 2.2 kg dada una eficiencia de 2.3%. Así mismo, en base a este panel se tiene un soporte que se puede ver en el anexo 14. Además, se tuvo en cuenta que estos elementos van ubicados en la zona de la tapa que no se abre y que no debe ser pesado respecto al peso de la tolva. En este caso $2.2/120 = 1.83\%$ que se considera no desequilibrante respecto al centro de gravedad del sistema.

6.2.1. Soporte y uniones externas

Para el regulador de carga MPPT, la batería de litio y el botón de emergencia se tuvo en cuenta una caja eléctrica que los proteja y que permita disipar calor del regulador de carga. Así mismo, se consideró unir el panel solar a la tapa de la tolva con un ángulo de inclinación entre 10° y 30° ; para este caso específico fue de 22° dado que permite abrir la tapa sin golpear al panel solar.

6.3. Dominio eléctrico

Se tiene en cuenta la elección de componentes para tener un sistema fotovoltaico como son: panel solar, controlador de carga y batería.


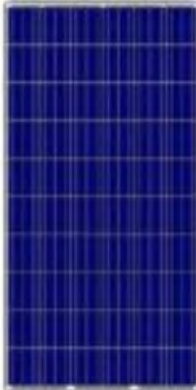

6.3.1. Selección del panel solar

Si el sistema estuviera funcionando durante 4 horas para cuatro turnos, necesitarías alrededor de $103.44\text{W} * 4\text{h} = 413.76\text{W-h}$ de energía en un día. En la zona de interés, se tiene alrededor de 4 horas de luz solar pico al día (esto es algo que variará dependiendo de tu ubicación y de la estación del año), necesitarías alrededor de $413.76\text{Wh} / 4\text{h} = 103.44\text{W}$ de potencia de los paneles solares, es decir, alrededor de 100 W considerando eficiencia y envejecimiento de los componentes.

Los paneles solares están formados por celdas fotovoltaicas para tener una tensión de salida de 12 V a 36 V. Existen tres tipos de paneles descritos en la Tabla 22 (Tritec Intervento, 2022):

Tabla 22. Selección del panel

Opciones	Panel solar monocristalino	Panel solar policristalino	Panel solar de capa fina

Criterios de comparación			
Rendimiento	17 a 24%	13 a 15%	7 a 9%
Principal ventaja	Mayor tiempo de vida a los otros dos	Mejor comportamiento a altas temperaturas	Uso para aplicaciones de arquitectura
Costo	Mayor a los otros dos	Menor precio al monocristalino	Precio mucho menor a ambos
Potencia nominal	50 W	50 W	50 W
Tolerancia de potencia	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
Voltaje nominal	17.7 V	17.7 V	17.7 V
Corriente nominal	2.8 A	2.8 A	2.8 A
Voltaje de circuito abierto	21.5 V	21.5 V	21.5 V
Corriente de corto circuito	3.1 A	3.1 A	3.1 A
Voltaje máximo del sistema	45 V	45 V	45 V

Nota. Elaboración propia

Los paneles monocristalinos tienen mayor rendimiento, pero son más costosos y los paneles de capa fina tienen bajo rendimiento a menor precio. En este caso, si interesa tener el mejor rendimiento posible y las otras características son iguales con lo cual se opta por un panel monocristalino.

6.3.2. Selección del controlador de carga

La elección del controlador de carga depende de la corriente máxima que puede pasar por él y el voltaje máximo de entrada que puede manejar. El voltaje máximo de entrada del controlador de carga

debe ser mayor que el voltaje de los paneles solares en su punto de máxima potencia. La corriente máxima debe ser mayor que la corriente total de los paneles solares (Ver Tabla 23).

Tabla 23. Selección del tipo controlador de carga

Opciones	Regulador de carga solar PWM	Regulador de carga solar MPPT
Criterios de comparación		
Trabaja con	Paneles de 36, 72 células : 12 a 24V	Paneles de 36, 72 células y paneles de conexión a red
Averías	Cuando sobrepasa su intensidad nominal	Cuando sobrepasa su tensión máxima de entrada
Costo	Menor costo respecto al MPPT	Mayor costo respecto al PWM
Uso	Cuando la batería y panel tienen la misma tensión	La batería tiene menor tensión que los paneles.

Nota. Elaboración propia

De las características ya mencionadas se requiere establecer los voltajes de la batería y de los paneles solares para elegir entre el PWM y MPPT. También se debe considerar las causas de averías más frecuentes como la intensidad nominal y tensión de entrada máxima (AutoSolar, 2022).

Para todas las opciones de paneles solares, el Controlador de carga MPPT debería ser suficiente, ya que puede manejar voltajes de 12 V como salida para las cargas y 12 o 24 V para las baterías (Ver Tabla 24).

Tabla 24. Selección del controlador de carga MPPT

Opciones	MPPT 75/10	MPPT 75/15
----------	------------	------------

Criterios de comparación



Voltaje de la batería	Variable	12/24 V
Corriente nominal	10 A	15 A
Potencia nominal a 12 V	145 W	220 W
Potencia nominal a 24 V	290 W	440 W
Voltaje de circuito abierto máximo	75 V	75 V
Eficiencia máxima	98%	98%
Consumo de corriente del regulador	15 mA a 24 V ; 25 mA a 12 V	15 mA a 24 V ; 25 mA a 12 V
Peso	0.5 kg	0.6 kg
Estándar-norma	EN/IEC 62109, UL 1741, CSA C22.2	EN/IEC 62109, UL 1741, CSA C22.2

Nota. Elaboración propia




Dado que se necesita un panel de 100 W entonces se elige al MPPT de 75/10 dada la potencia nominal que cubre y su eficiencia mayor al 90%.

6.3.3. Selección de la batería

Para seleccionar la batería adecuada, primero debemos determinar cuánta energía necesitarás almacenar. Recordemos que, en el caso extremo, necesitábamos alrededor de 97.02 Wh de energía en un día y un panel de 100 W si consideramos que el pico hora solar de Puno es de 5 horas y sin considerar tanta pérdida de energía se debe poder almacenar 2.98 Wh en la batería. En caso de tomar como base una batería de 12 V por su mayor uso comercial se debe tener como base que su capacidad de carga mayor de 8.33 Ah para cubrir todo un día de funcionamiento sin intervención de la energía del panel solar (Ver Tabla 25).

Tabla 25. Selección de la batería

Opciones	Batería LiPo	Batería Litio	Batería LiFePo4
----------	--------------	---------------	-----------------

	recargable		
Criterios de comparación			
Voltaje nominal	11.1 V a 12.6 V	10.8 V a 12.6 V	12.8 V
Capacidad nominal	Varía	Varía	Varía
Eficiencia	Alta	Alta	Alta
Peso	Ligero	Ligero	Moderado-pesado
Tamaño	Compacto	Compacto	Compacto
Seguridad	Riesgo de inflamación	Riesgo de inflamación	Seguro
Rango de temperatura	Variado	Variado	Amplio
Costo	Moderado-Alto	Moderado-Alto	Alto
Uso recomendado	Aplicaciones portátiles	Aplicaciones generales	Sistemas estacionarios

Nota. Elaboración propia

Para este caso se toma en cuenta a la batería de litio recargable por tener características adecuadas y no considerarse costo como otras opciones. Además, por su uso frecuencia y fácil acceso para comprarlo.

6.3.4. Conexiones de los componentes

Para conectar la batería con los componentes se requiere convertidores de DC a DC desde 12 V a 5V para los otros subsistemas. Además, se debe tener en cuenta al menos un botón de emergencia que corte la corriente que provee el regulador de carga y panel solar; es decir, su ubicación y conexión es importante para evitar riesgos mecánicos por el giro de componentes o por riesgo eléctrico (Ver Figura 47).

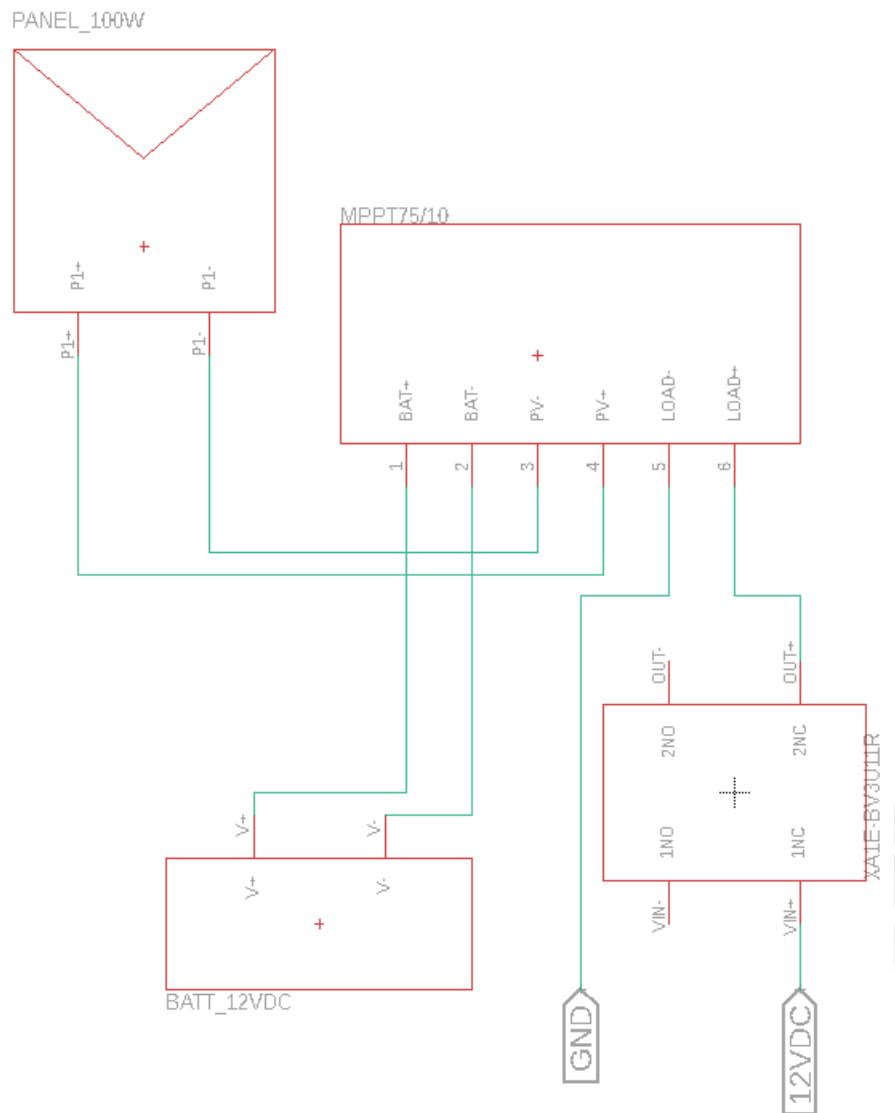


Figura 47. Esquemático del subsistema de energización

Nota. Elaboración propia

Este mismo plano con mejor calidad de imagen se puede ver en el anexo 14, se considera que para evitar riesgos se plantea el uso de un botón de emergencia, dada la ubicación del sistema no se puede poner una interfaz complicada dado que usualmente se encuentra en el centro de la jaula flotante a 4 metros de los bordes de las jaulas. Entonces, como medida extra solo se tomó en cuenta al botón de emergencia.

6.4. Dominio de software/control

En este subsistema, no se tiene programación tal cual, solo se debe tener cuidado con el riesgo eléctrico que implica un sistema fotovoltaico y para comprender mejor su funcionamiento se hace un diagrama de flujo.

6.4.1. Diagrama de flujo

Dado que estos componentes funcionan adecuadamente dado el regulador de carga MPPT, se tiene el siguiente diagrama de flujo (Ver Figura 48):

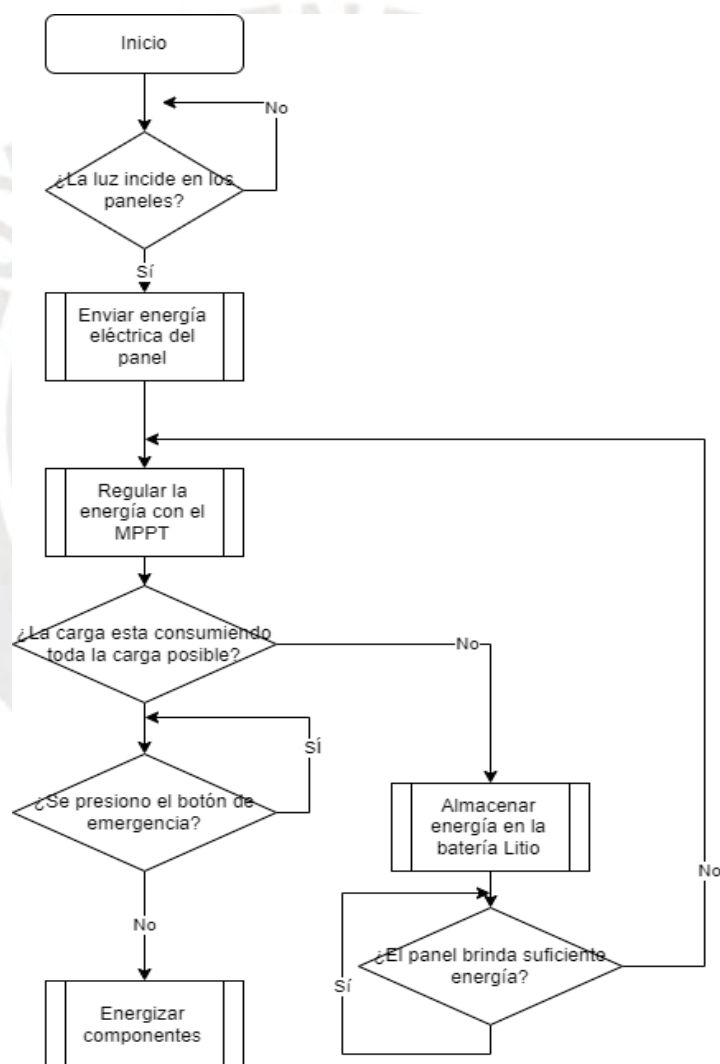


Figura 48. Diagrama de flujo del subsistema de energización

Nota. Elaboración propia

Este diagrama de flujo es una simplificación de lo que hace el subsistema de energización y las fluctuaciones de la potencia que viene del panel solar se controla con el MPPT. Así mismo, se tiene a la batería de litio para almacenar la energía eléctrica que no sea consumida por los componentes eléctricos y electrónicos del diseño. Esta energía acumulada se usará en caso el panel solar ya no pueda proveer suficiente energía. Todo esto se procesa en el interior del regulador de carga.



7. CAPÍTULO 7 DISEÑO INTEGRADO

Este capítulo está más centrado en integrar el elemento flotador, tener una idea de la distribución de componentes en el modelo 3D y la prueba de comunicación inalámbrica con el ESP32 y un sensor de temperatura.

7.1. Elemento de flotación

Los sensores, actuadores, microcontroladores y sistema fotovoltaico pesan en total 43.79 N. Así mismo, los componentes de soporte o mecanismos pesan 491.53 N considerando una gravedad de 9.81 m/s^2 . Así mismo, considerando un peso de 120 kilogramos o 1177.2 N en la tolva y un flotador de polietileno de alta densidad con las dimensiones de 1 metro por 1 metro con una altura de 0.25 metros con vacío contenido en su interior dado un espesor de 10 mm se tiene un peso de 268.97.

$$\text{Masa de flotador: } F_{\text{flotador}} = 268.97 \text{ N}$$

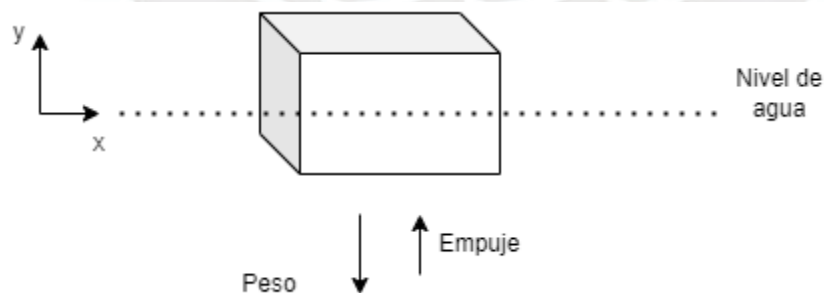
$$\text{Masa de componentes: } F_{\text{componentes}} = 491.53 + 43.79 \text{ N}$$

$$\text{Masa del alimento: } F_{\text{alimento}} = 1177.2 \text{ N}$$

$$\text{Masa del sistema: } F_{\text{total}} = F_{\text{alimento}} + F_{\text{componentes}} + F_{\text{flotador}} = 1981.49 \text{ N}$$

$$\text{Densidad del agua: } \rho_{\text{Agua}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Gravedad



$$\text{Empuje} = \rho_{\text{Agua}} * g * V_{\text{sumergido}}$$

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

7.1.1. Volumen sumergido

$$V_{sumergido} = \frac{1981.49 N}{\rho_{Agua} * g} = \frac{1981.49 N}{9810 N/m^3} = 0.20188 m^3$$

Considerando que un lado del flotador es de 1 metro y el otro es de 0.25 metros se tiene que calcular la altura necesaria para tener el flotando a los elementos de interés.

$$0.20188 < 1 * 0.25 * X * 2 + 0.5 * 0.25 * X * 2$$

$$0.2691 m < X$$

Así mismo se necesita que al menos 0.156 metros están en la superficie, como mínimo la altura del flotador es de 0.425 m. Para este diseño se toma en cuenta un X igual 0.5 metros.

7.1.2. Material para flotadores

Se tiene en cuenta al plástico reforzado con fibra de vidrio y polietileno de alta densidad dadas su resistencia al agua y durabilidad. Esta tabla se elabora en base a una revisión en internet de diversas fuentes y se resume de la siguiente manera (Ver Tabla 26).

Tabla 26. Selección de material para flotadores

Material	Densidad (kg/m ³)	Resistencia al agua	Resistencia a productos químicos	Durabilidad	Precio
Espuma de poliestireno	10-50	Buena	Pobre	Buena	Bajo
Polietileno de alta densidad	940-970	Excelente	Buena	Buena	Medio
Madera	300-1000	Buena	Pobre	Variable	Medio
Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	1800-2000	Excelente	Excelente	Excelente	Alto

Nota. Elaboración propia

Se tuvo en cuenta a la madera para pruebas de flotabilidad, pero no cumple con lo necesitado y la espuma de polietileno era una opción viable; pero para usar los mismos materiales que las jaulas flotantes se optó por el polietileno de alta densidad.

7.2. Modelo 3D

Este modelo 3D integra los tres subsistemas desarrollados en los capítulos 4, 5 y 6. Algunas uniones se realizaron mediante soldadura y otras con pernos, considerando además las restricciones dimensionales descritas en capítulos anteriores. Se añadió el corte de sección central para mostrar con mayor detalle el recorrido del alimento desde la tolva hasta el sistema de descarga. Estos cortes de la vista isométrica y posterior permiten observar claramente cómo el alimento se traslada y se distribuye en la parte inferior (ver Figura 49).

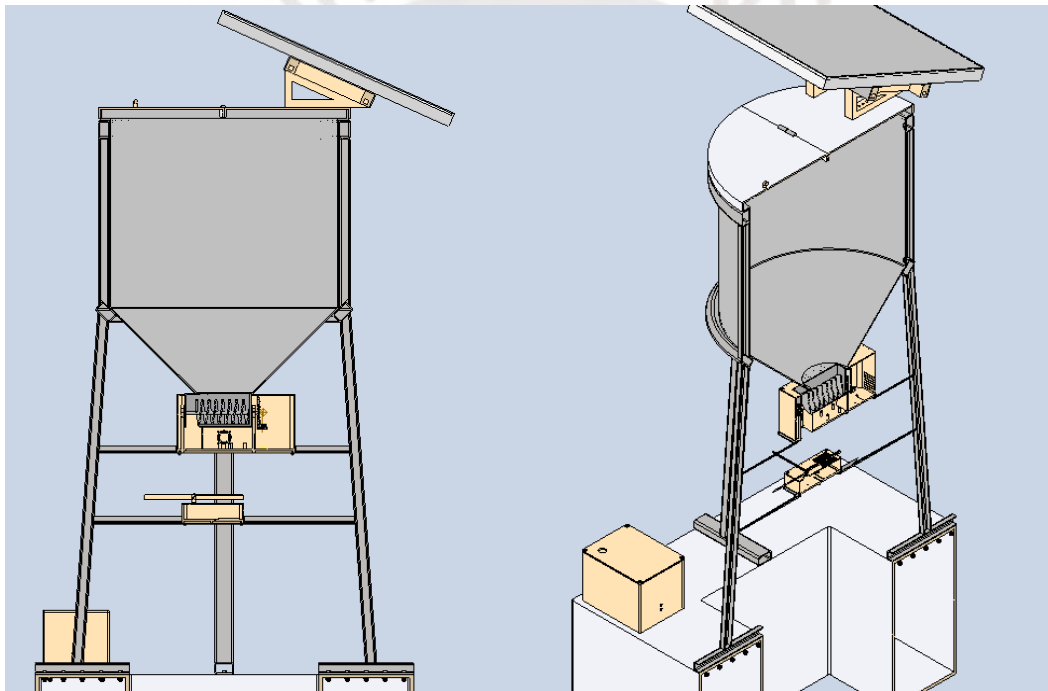


Figura 49. Modelo 3D integrado de los subsistemas con cortes de sección lateral e isométrico.

Nota. Elaboración propia

La caja eléctrica en la parte frontal tiene cables metálicos de apoyo para garantizar que estén hundidos a una profundidad de medio metro y para que los cables de los sensores no sufran tensión. Además, se observa la tolva con su soporte sobre el elemento flotador. Dada la ubicación de los

componentes, el centro de gravedad es bajo y centrado; por lo cual, no hay riesgo de volcadura por los movimientos de las olas o viento.

7.3. Prueba de comunicación remota

Previo a la instalación en campo, se llevaron a cabo pruebas preliminares con el sensor DS18B20 Waterproof conectado a un ESP32, con el propósito de simular el escenario previsto para su implementación en las jaulas flotantes. En el montaje se incorporó un ventilador auxiliar, destinado a mitigar la disipación de calor generada por el microcontrolador durante el funcionamiento. Las conexiones eléctricas y el diagrama de bloques correspondientes se presentan en las Figuras 16 y 17, mientras que la Figura 50 muestra un esquema referencial de la prueba realizada. En el diseño se consideraron las especificaciones técnicas establecidas en las hojas de datos tanto del sensor como del microcontrolador, incorporando márgenes de seguridad. Asimismo, se evaluó que la alimentación de los sensores no dependa directamente del ESP32 y que los conductores utilizados sean sumergibles y resistentes a la exposición prolongada en agua. Adicionalmente, se determinó prescindir del uso de protoboard en la instalación final, debido a la susceptibilidad de este tipo de conexiones a interferencias electromagnéticas que podrían afectar la fiabilidad en la adquisición de datos (Ver Figura 50). También se consideraron medidas de protección frente a la lluvia y a condiciones ambientales adversas, a fin de garantizar la viabilidad del sistema como prueba de concepto.

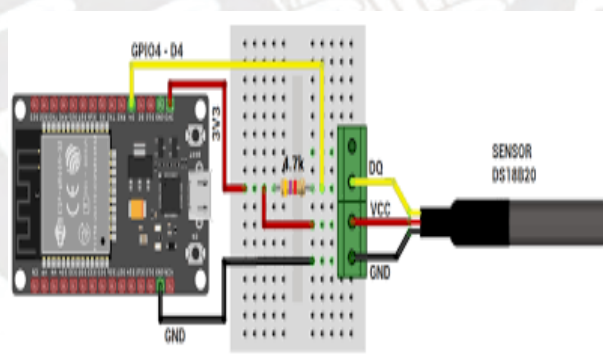


Figura 50. Esquema de la prueba preliminar de comunicación remota con ESP32 y sensor DS18B20.

Nota. Tomado de Ayala (2023) y elaboración propia

Si bien las pruebas se ejecutaron en condiciones de temperatura ambiente y no se dispone de registro fotográfico, se documentaron los parámetros de operación. Entre estos, se destaca la alimentación del ESP32 mediante un cargador de 5 V y 1 A, la verificación de la comunicación

inalámbrica con un dispositivo móvil a corta distancia y la evaluación de la necesidad de ampliar el alcance mediante la incorporación de más unidades ESP32 o antenas externas. Finalmente, se contempló la inclusión de una memoria microSD como respaldo para el almacenamiento local de datos a corto plazo.

La interfaz mostrada en la Figura 51 corresponde a una versión preliminar desarrollada únicamente como prueba de concepto. Su finalidad fue validar la comunicación inalámbrica entre el microcontrolador ESP32 y un dispositivo móvil, así como la lógica de envío de mensajes simples al usuario. En esta etapa se buscó comprobar que el sistema fuese capaz de medir una variable (temperatura), compararla con un rango de referencia y mostrar al usuario un mensaje de estado, por ejemplo, “Temperatura adecuada”. Este proceso permitió verificar la viabilidad de implementar posteriormente una interfaz más completa. Si bien las pruebas preliminares se centraron en la variable de temperatura, el diseño de la interfaz contempla la incorporación de los parámetros más relevantes para el sistema acuícola: temperatura, pH, oxígeno disuelto y estado del alimento en la tolva. De esta manera, el prototipo inicial constituye la base para un sistema integral de monitoreo remoto. (Ver Figura 51). El recorrido de la información desde los sensores hasta la interfaz, con sus etapas de adquisición, procesamiento, transmisión y visualización, se encuentra representado en el diagrama de flujo mostrado en la sección 6.4.



Figura 51. Interfaz temporal para la prueba de comunicación y validación de mensajes de temperatura adecuada.

Nota. Elaboración propia.

Se diseñó un sistema basado en el microcontrolador ESP32, utilizando como entorno de desarrollo Arduino IDE, considerando el uso del sensor de temperatura DS18B20 y las librerías necesarias para su funcionamiento, así como la configuración de una red WiFi en modo *Access Point*. El diseño contempla que el ESP32 genere una red WiFi con nombre “NombreDeRedWiFi” y una

contraseña definida, a la cual el usuario podría conectarse mediante un dispositivo móvil. Desde el navegador, accediendo a la dirección IP 192.168.4.1 o alguna IP que se puede consultar, se prevé mostrar mensajes simples, como “Temperatura adecuada”, cuando el valor medido esté dentro de un rango deseado.

Aunque no se llegó a implementar físicamente esta solución, el diseño propuesto tiene como objetivo permitir el monitoreo remoto de parámetros clave del agua en sistemas acuícolas: temperatura, pH, oxígeno disuelto, así como el estado del alimento en la tolva. Este monitoreo podrá realizarse mediante celular o visualizando un registro diario de los valores capturados. El código de ejemplo y la estructura general del sistema se incluyen en el Anexo 10 como referencia para su futura implementación.

7.4. Procesos de manufactura

El desarrollo del sistema se centró en el diseño integrado de los diferentes subsistemas, con énfasis en la selección de materiales, la definición de dimensiones y la validación de la resistencia de los componentes en condiciones operativas. Si bien el alcance de la presente tesis se concentra en la etapa de diseño, se identificaron los procesos de manufactura requeridos para la futura construcción del prototipo, los cuales serán en su mayoría tercerizados en talleres especializados, con el objetivo de garantizar calidad, precisión y optimización de recursos.

En el caso de los elementos estructurales en acero galvanizado, se contemplan procesos de corte, doblado y soldadura, realizados por empresas que cuenten con certificaciones en trabajos metálicos y normas de seguridad industrial. Para las carcasas y soportes fabricados en polietileno de alta densidad (HDPE), se consideran técnicas de corte CNC y termoformado, además del posible uso de impresión 3D en materiales alternativos como PETG, cuando se requiera producir piezas de geometría compleja en menor escala.

La integración de los subsistemas se realizará mediante un ensamblaje atornillado y modular, lo que permite desmontar fácilmente las carcasas para mantenimiento preventivo y correctivo. Asimismo, se incluyen procesos complementarios como perforaciones para el paso de cables, fijación de sensores y aplicación de sellos herméticos para garantizar la protección frente al ambiente lacustre. Si bien la fabricación no forma parte del alcance directo de este trabajo, la definición de materiales, procesos y secuencias de ensamblaje constituye un aporte fundamental de la tesis, ya que establece las bases técnicas para que el proyecto pueda ser producido e implementado en condiciones reales.

8. CAPÍTULO 8: PLANOS Y PRESUPUESTO

8.1. Listado de Planos

Se tiene en el anexo 14 los planos eléctricos y mecánicos. Los planos eléctricos están listados en la tabla 27:

Tabla 27. Listado de planos eléctricos

Código de plano	Cantidad	Nombre del Plano
PL-E01	1	Subsistema alimentador
PL-E02	1	Subsistema de energización
PL-E03	1	Subsistema de monitoreo
PL-E04	1	Sistema automático para truchas

Esta investigación se entiende mejor al desagregarla por subsistemas, con lo cual, también se usó se criterio para los planos (esquemáticos) y planos de despiece del anexo 14.

Así mismo, para los planos mecánicos se tiene en cuenta la tabla 28:

Tabla 28. Listado de planos mecánicas

Código de plano	Cantidad	Nombre del Plano
PL-M00	1	Nodo monitoreo
PL-M01	1	Nodo distribuidor
PL-M02	1	Nodo dosificador
PL-M03		Nodo de energía
PL-M04	1	Panel solar y soporte
PL-M05	1	Tapa para tolva
PL-M06	1	Soporte metálico general
PL-M07	1	Tolva
PL-M08	1	Paletas del distribuidor
PL-M09	1	Soporte para sondas de OD y PH
PL-M10	1	Soporte de sonda temperatura
PL-M11	1	Elemento flotador
PL-M12	1	Tapa de distribuidor
PL-M13	1	Tapa de monitoreo

PL-M14	1	Tapa de dosificador
PL-M15	1	Soporte tornillo sinfín
PL-M16	1	Tornillo sinfín dosificador
PL-M17	3	Carcasa dosificador
PL-M18	1	Carcasa de distribuidor
PL-M19	1	Carcasa de monitoreo
PL-M20	1	Soporte metálico para monitoreo
PL-M21	1	Carcasa energía
PL-M22	1	Tapa de energía
PL-M23	1	Sistema integrado

En estos planos se encuentran tanto el material, las dimensiones y las ubicaciones que tienen los componentes electrónicos; así como ranuras para disipar calor o entrada de cables externos. Así mismo, se hizo agujeros para tornillo y tener carcasas con tapas desmontables y elementos metálicos soldados. En general, se tuvo como base dos materiales: polietileno de alta densidad y acero galvanizado. Se tomó como base estos dos materiales, dado que son usados actualmente por jaulas flotantes instaladas en el lago Titicaca.

8.2. Presupuesto

A continuación, se hace un presupuesto de los componentes electrónicos y mecánicos, así como una estimación presupuesto total.

8.2.1. Componentes electrónicos

Para la elaboración de esta tabla se tuvo en cuenta a proveedores locales e internacionales como Naylamp, Uelectronics, Mouser, Electromania, Saisac, TeslaElectronic, Autosolar y Mercado libre. Considerando que la fecha de consulta fue 23 de junio del 2023. Considerando así mismo que tipo de cambio es 1 dólar estadounidense es igual a 3.63 soles peruanos (Ver Tabla 29).

Tabla 29. Precio de los componentes electrónicos y eléctricos

Material/componente	Cantidad	Costo	Costo
		unitario	total
		(S/).	(S/)
Sensor PH-4502C	1	96	96

Sensor DS18B20	1	11	11
Sensor SEN0237-A	1	733.8	733.8
Sensor LJC18A3-H-Z/BX	2	40	80
ESP32	2	45	90
RTC DS3231	1	24	24
DC-DC Buck LM2596	1	12	12
Ventilador 40x40x20 3 pin	1	14	14
Nema 17 0.40 Nm	2	45	90
TB6600	2	47.5	95
Panel solar 50 W 12 V	2	278.95	557.9
Batería de litio recargable 12 V 10 A	1	220	220
MPPT Blue Solar 75 V 10 A	1	434.46	434.46
VICTRON			
Botón de emergencia	1	30	30

Nota. Elaboración propia

Por tanto, se tiene que el presupuesto para los componentes es 2488.16 soles y considerando que se compre 100 metros de cable de calibre 12 AWG es de 155.80 soles; se tiene un total redondeado de 2644 soles.

8.2.2. Componentes mecánicos

Así mismo se tiene en cuenta potencial uso de impresión 3D con polietileno de alta densidad, alternativamente se puede usar PP si es mejor para la impresión 3D o alternativamente PETG que es un termoplástico que ofrece una buena resistencia y comparte características con el HDPE. El kilogramo de filamento de PETG está 96 soles. El kilogramo de filamento de HDPE está 252.65 soles; con lo cual puede ajustar el valor según el material que va usar (Ver Tabla 30).

Tabla 30. Precio de los componentes de polietileno de alta densidad (HDPE)

Cantidad	Componente	Masa unitaria (kg)
1	Carcasa del dosificador	0.742
1	Tapa para el dosificador	0.075

1	Paletas+eje	0.016
1	Carcasa del distribuidor	0.177
1	Tapa para el distribuidor	0.045
1	Carcasa MPPT y batería	0.502
1	Tapa carcasa MPPT	0.188
1	Carcasa de monitoreo	0.278
1	Tapa para monitoreo	0.153
1	Media tapa con jalador	1.01
1	Media tapa fija	1.005
1	Soporte panel solar 1	1.674

Nota. Elaboración propia

Dada una masa de 5.865 kilogramos al precio consultado el 24 de junio del 2023 en Aliexpress se tiene un costo de 1481.79 soles. Si se usará la alternativa del PETG el precio sería de 563.04 soles. Adicionalmente, se debe hacer considerar un proceso de compra de láminas espesor de 10 mm de HDPE para cubrir 31.548 kg a un precio de 14.52 soles se tiene con dimensiones de 5040x1330x(6 a 300) mm se tiene un costo de 458.08 soles. Entonces, para hacer las carcasas y soportes se tiene un precio de 1939.87 soles.

Así mismo se toma en cuenta que se debe comprar dos rodamientos y estructura de metal externo en base su norma explicada con anterioridad. Los rodamientos cuestan 120 soles en Amazon y los perfiles rectangulares de 50x30x2 mm con una longitud de 6 metros tiene una masa de 13.86 kg a un costo de 128.03 soles y considerando que la masa del proyecto para perfiles es de 32.56 kg se tiene un costo de 300.77 soles. Además, compras de 20 soles en tornillos, se tiene un precio de 440.77 soles (Ver Tabla 31).

Tabla 31. Precio de los componentes de acero galvanizado

Cantidad	Componente	Masa unitaria (kg)	Material
1	Tornillo sinfín	0.883	Acero galvanizado
1	Soporte del tornillo	1.117	Acero galvanizado
1	Engranaje de 12 dientes	0.044	Acero galvanizado

1	Engranaje de 48 dientes	0.277	Acero galvanizado
1	Soporte de sonda pequeño	0.024	Acero galvanizado
2	Soporte de sonda grande	0.461	Acero galvanizado
3	Cables de acero	0.122	Acero galvanizado
1	Soporte para monitoreo	1.492	Acero galvanizado
1	Soporte panel solar 2	2.301	Acero galvanizado

Nota. Elaboración propia

Se tiene una masa de 6.721 kg que puede comprar una lámina de un espesor de 3 mm con una dimensión de 300 mm x 1000 mm se tiene 7.065 kg con lo cual es suficiente una lámina que tiene un costo de 143.22 soles. Así mismo, considerando el costo de comprar una soldadora a un precio de 800 soles se tiene un precio de 943.22 soles para los elementos de acero.

8.2.3. Costos de diseño, mano de obra y servicios

Así mismo, considerando que se trabaja en el diseño, implementación e instalación de la máquina un estimado de 14400 soles trabajando 4 horas por día durante 120 días por un precio de 30 soles por hora.

$$120 \text{ días} \times 4 \text{ h/día} \times S/30 = S/ 14,400.00$$

Entonces, el presupuesto de los materiales y componentes del diseño es de 5967.86 soles y el precio de los servicios considerando el tiempo invertido y de potencial implementación se llega a un total de 20 367.86 soles.

8.2.4. Presupuesto total

En resumen, el presupuesto total que sintetiza los puntos 8.2.1 al 8.2.3 se plantea en la tabla 32.

Tabla 32. Precio de los componentes de acero galvanizado

Categoría	Costo (S/.)
Componentes electrónicos	2,644.00
Componentes mecánicos y estructurales	3,323.86
Mano de obra y servicios	14,400.00
Total estimado del proyecto	20,367.86

8.2.5. Análisis financiero

Para evaluar la viabilidad del proyecto se comparó la inversión con el costo actual de contratar personal (S/ 1,025/mes, salario mínimo 2023) por dos años o 24 meses desde la puesta en marcha de la propuesta de esta tesis. Considerando una tasa de descuento mensual de 0.8% (equivalente a una tasa anual de 10%), se obtuvo:

$$VAN = \sum_{t=1}^{24} \frac{1025}{(1 + 0.008)^t} - 20367.86$$

- Valor Actual Neto (VAN): S/ 1,933.89

$$0 = \sum_{t=1}^{24} \frac{1025}{(1 + TIR)^t} - 20367.86$$

- Tasa Interna de Retorno (TIR anual): 1.57%
- Periodo de recuperación: 22 meses, en ese mes el VAN y TIR se vuelven positivos

Esto demuestra que el proyecto es financieramente viable, y se vuelve más rentable al escalar la implementación en múltiples unidades después del segundo año.

CONCLUSIONES

Se logró el diseño de un sistema para el crecimiento óptimo de truchas arcoíris criadas en jaulas flotantes ubicadas en el distrito de Conima, en el lago Titicaca, basado en monitoreo de la calidad de agua y alimentación automática. Basado en el diseño de sus tres subsistemas y posterior integración. El diseño se apoyó en el estado del arte de sistemas de monitoreo y alimentadores automáticos. Además, se tuvo en cuenta el desarrollo conceptual de la solución.

En relación con el subsistema de monitoreo remoto se hizo prueba de corta y media distancia basado en lograr los 150 metros y se concluyó que el establecimiento de la red WiFi con el ESP32 para el proyecto si es viable. Se logra el monitoreo del pH, oxígeno disuelto y temperatura a nivel de diseño y se prueba con el sensor de temperatura el funcionamiento para considerar un comportamiento análogo de los otros sensores.

En relación con el subsistema de alimentación automática se tiene una dispensación con una precisión de 12 gramos por revolución del tornillo sinfín. Además, se consideró que se debía establecer una relación entre el dispensador y distribuidor basado en lógica de programación y conexión a la red generada por el ESP32 del subsistema de monitoreo.

Se desarrolló el cálculo y consideraciones extras para el subsistema de energización basado en un sistema fotovoltaico, donde se resalta el uso del regulador de carga MPPT. Esto dado que sin este elemento no se tendría control sobre la corriente fluctuante que se genera con el panel solar. Además, se tiene a la batería de litio como un respaldo energético en caso de que hubiese condiciones climáticas adversas como muchas nubes o poca luz solar. Se tomó en cuenta que la hora solar pico de Puno es de 4 horas para dimensionar la potencia del panel solar.

Se logró un análisis de esfuerzos en elementos considerados críticos como las barras rectangulares y el dispensador; esto debido a que la tolva concentra la mayor cantidad de masa del sistema. Además, se tuvo en cuenta que exista un funcionamiento correcto de los componentes electrónicos para que funcionen los subsistemas. Se tomó en consideración que el uso constante del ESP32 disipa calor y para evitar problemas de sobrecalentamiento se tuvo en cuenta ventiladores ubicados cerca de los ESP32.

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS A FUTURO

Se recomienda usar sensores para sonido dentro de las jaulas flotantes para ver la actividad de las truchas y también usar un horario que se ajuste mejor al clima y condiciones de movimiento de la biomasa de las jaulas flotantes.

Se recomienda también considerar una integración escalada del sistema diseñado para varias jaulas y que estén a distancia de kilómetros; es decir, se puede hacer una automatización de jaulas flotantes a gran escala basados en el establecimiento de una red WiFi u otra red similar.

El presupuesto para el diseño planteado es de 5967.86 soles y el presupuesto para el pago de servicios de ingeniería bajo los supuestos del capítulo 8 es de 14400 soles. Con lo cual, se tiene un retorno positivo de la inversión en el mes 20 luego de invertir en este diseño.



BIBLIOGRAFÍA

Aceituno, S. (2022). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE SEGURIDAD GEOLOCALIZABLE EN JAULAS FLOTANTES PARA CRIADERO DE TRUCHAS EN EL LAGO TITICACA – PUNO. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.

AcerosArequipa. (s/f). Barras redondas lisas y pulidas. https://acerosarequipa.com/sites/default/files/fichas/2023-04/AF_HOJA%20TECNICA-REDONDA.pdf?fv=S2QPqhpT

Aguirre, C. (2009). Simulación numérica de la hidrodinámica del Lago Titicaca, frente a las costas de la ciudad de Puno en el Perú [UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/1741/aguirre_cc.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Alibaba. (s/f). Revestimiento de teflón líquido anti corrosión resistente al agua con efecto hidratante. Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://spanish.alibaba.com/g/anti-corrosion-liquid-teflon-coating.html>

Amazon. (s/f). Mirror 2.4ghz WiFi Antenna 2dbi SMA Male (Pin) Connector with Mini PCI U.FL to SMA Female WiFi Pigtail RF1.13 Cable 15cm(Pack of 2): Amazon.ca: Electronics. Amazon. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://www.amazon.ca/Mirror-2-4ghz-Antenna-Connector-Pigtail/dp/B07L42YBQS>

AQUATECH. (s/f). ALIMENTO PARA TRUCHAS. Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://aquatech.pe/truchas/>

Atlas Scientific. (2022). Mini Lab Grade Dissolved Oxygen Probe. <https://atlas-scientific.com/probes/mini-d-o-probe/#>

Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

<http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/1475.pdf>

Autosolar. (s/f). Kits solares fotovoltaicos. Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://autosolar.pe/kits-solares-de-aislada>

AutoSolar. (2022). ¿Qué controlador de carga necesito para mi instalación solar? <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/que-controlador-de-carga-necesito-para-mi-instalacion-solar>

Bluesensor. (2022). Alimentadores automáticos para camarón Ecuador. <https://bluesensordata.com/feeder>

Casas, C., & Shirley, N. (2019). DISEÑO DE UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS PARA LA COMPAÑÍA DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO CIM S.A.S [Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7561/1/4122595-2019-2-IM.pdf>

Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales. (2021). Evaluación del mercado nacional e internacional de la Trucha. <https://www.cien.adexperu.org.pe/evaluacion-del-mercado-nacional-e-internacional-de-la-trucha/>

Churata, R. (2020). Diseño e implementación de un prototipo para el monitoreo de calidad de agua para el criadero de truchas PISPERU del distrito de Santa Lucia. En Universidad Nacional del Altiplano. Universidad Nacional del Altiplano.

- ComexPerú. (2023, febrero 3). UNA RADIOGRAFÍA AL SECTOR ACUÍCOLA. COMEXPERU - Sociedad de Comercio Exterior Del Perú. <https://www.comexperu.org.pe/en/articulo/una-radiografia-al-sector-acuicola>
- Cook, W. L. (1966). Automatic fish feeder (United States Patent US3231314A). <https://patents.google.com/patent/US3231314A/en>
- Cuarite, J. (2015). ¿CÓMO ALIMENTAR A MIS TRUCHAS? Recomendaciones y Aplicación de Fórmulas. <https://draapurimac.gob.pe/sites/default/files/revistas/MANUAL%20TRUCHAS%20f.pdf>
- DFRobot. (2020). Gravity Analog Dissolved Oxygen Sensor SKU SEN0237. <https://www.farnell.com/datasheets/3161974.pdf>
- El mundo del arte. (2022). Proporción del cuerpo humano. <https://artesvisualesmex.wordpress.com/2020/05/25/proporcion-del-cuerpo-humano-2/>
- El Octavo Bit. (2020, diciembre 18). Real-Time-Clock (RTC) DS1302, módulo reloj para Arduino. El Octavo Bit. <https://eloctavobit.com/arduino/real-time-clock-rtc-ds1302-modulo-reloj/>
- Electricistard. (s/f). Las cajas eléctricas y sus aplicaciones. Electricistas RD.com. Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://www.electricistasrd.com/las-cajas-electricas-y-sus-aplicaciones/>
- ElectroDaddy. (s/f). Baterías de iones de litio (Li-Ion). Recuperado el 20 de octubre de 2022, de <https://www.electrodaddy.com/baterias-de-iones-de-litio-li-ion/>
- Endress+Hauser. (2022). iTHERM ModuLine TM101. https://www.lasc.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-temperatura/sonda-temperatura-moduline-tm101?t.tabId=product-specification&wt_mc=paid-search.google.merch-google-shopping-campaign-products-las-tm101.othr.google-shopping-

campaign-products-

las.ii.admedia&gclid=CjwKCAiAjs2bBhACEiwALTBWZc1bcZaYMj3WdBgKK34JW3J6R
u9IQcCoqdKc1u6Ipluc8JmDjs7ImxoCRQ0QAvD_BwE

ExtruDesign. (2022, febrero 5). Motor Torque Calculator. ExtruDesign.
<https://extrudesign.com/engineering-unit-converters/motor-torque-calculator/>

Falcon Industries, Inc. (Director). (2018, noviembre 14). Auger Measuring Tutorial [Video recording].
<https://www.youtube.com/watch?v=YyPKKj5TiiU>

Fish Farm Feeder. (2022). Tipos de Alimentadores Automáticos en Acuicultura.
<https://www.fishfarmfeeder.com/es/blog/tipos-alimentadores-automatizados-acuicultura/>

Flores, S., & Aracena, D. (2018). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la
crianza de camarones. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26, 55–64.
<https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500055>

Fonotest S.L. (2022). Sondas multiparametricas. <https://www.fonotest.com/analizadores-aguas-sondas-multiparametricas.php>

Halford, A. C. (2000). Automatic fish feeder (United States Patent US6082299A).
<https://patents.google.com/patent/US6082299A/en>

Hanna Instruments. (2020). HI98194, HI98195, HI98196.
https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2020/09/Manual_HI_98195.pdf

Hardzone. (2022). Raspberry Pi vs Arduino: Características técnicas y diferencias.
<https://hardzone.es/reportajes/comparativas/raspberry-pi-vs-arduino/>

- Imués-Figueroa, M. A., Gonzalez-Legarda, E. A., Duque-Nivia, G., Burbano-Gallardo, E., & Guerrero-Romero, C. L. (2018). EFECTO DE LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA SOBRE LAS VARIABLES DE CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO GUAMUEZ. *Revista Investigación Pecuaria*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.22267/revip.1851.4>
- Ingemecanica. (s/f). Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>
- International Electrotechnical Commission. (2001). International Standar CEI IEC 60529- IP-Standard. <https://www.wewontech.com/IEC60529-%20IP-Standard.pdf>
- Juliano De Negri, V., Muñoz, K., & Vígolo, V. (2021). Design Methodology for Mechatronic Systems an Approach Using Function/Means Tree and Channel/Agency Net.
- MCI Electronics.cl. (2022). Tarjeta de Desarrollo Arduino Mega 2560 R3. <https://mcielectronics.cl/shop/product/arduino-mega-2560-r3-arduino-10231/>
- Ministerio de la Producción. (2024). TRUCHA FICHA TÉCNICA. <https://www.producepresarial.pe/wp-content/uploads/2024/02/Ficha-Recurso-Trucha-2023-1.pdf>
- Mobus. (2022). ¿Que es una batería LiPo? Aprende a leer su nomenclatura. <https://mobus.es/blog/que-es-una-bateria-lipo/>
- Naylamp. (2022). WeMos D1 mini ESP8266 WiFi. <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/291-wemos-d1-mini-esp8266-wifi.html>
- Naylamp mechatronics. (2022). Sensor de Temperatura Digital DS18B20. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/16-sensor-de-temperatura-digital-ds18b20.html>

- OAS. (s/f). Capítulo I. Descripción del medio natural. Recuperado el 20 de junio de 2023, de <https://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea31s/ch05.htm>
- OKYSTAR. (2022). NRF24L01 NRF24L01Module Wireless Transceiver – OKY3362-1. <https://www.okystar.com/product-item/nrf24l01-nrf24l01module-wireless-transceiver-oky3362-1/>
- Olivo-Gutiérrez, M., Verduzco-Ramírez, J., García-Díaz, N., Villalobos-Gómez, J., & Olivo-Gutiérrez, A. (2018). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica*, 22(2), 87–95.
- Omega. (s/f). Monitoreo Remoto. <https://mx.omega.com/>. Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://mx.omega.com/technical-learning/monitoreo-remoto.html>
- PANORAMA ACUICOLA MAGAZINE. (2020, septiembre 11). Panorama Acuícola Magazine Septiembre-Octubre 2020 Vol. 25 No.6 by—Issuu. https://issuu.com/designpublications/docs/panorama_acuicola_25-6_septiembre_octubre_2020-web
- PCE Inst. (2022). Electrodo de pH. <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/electrodos-ph.htm>
- Pinto, C. H., & Sánchez, H. D. (2006). Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1077&context=ing_automatizacion
- Plazas, L., & Paz, N. (2019). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua en cultivo de tilapia en una granja piscícola del departamento del Cauca. *Publicaciones e Investigación*, 13(2), 11–22. <https://doi.org/10.22490/25394088.3255>

- Sánchez, J. (2017). Compuertas. <https://es.slideshare.net/JamesAnderssonSnchez/compuertas-grupo-7>
- SDI. (2022). Actuadores Eléctricos ¿Qué Son Y Cómo Funcionan? <https://sdindustrial.com.mx/blog/introduccion-a-los-actuadores-electricos-motores-electricos/>
- Sigma Electrónica. (2022). SEN0161. <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0161/>
- Sistema Nacional de Acuicultura. (2022a). Manual para una acuicultura sostenible Cultivo de Trucha. Sistema Nacional de Acuicultura. <https://rnia.produce.gob.pe/sistema-nacional-de-acuicultura-sinacui-elabora-manuales-tecnicos-sobre-el-cultivo-de-trucha-concha-de-abanico-y-gamitana/>
- Sistema Nacional de Acuicultura. (2022b). Manual para una acuicultura sostenible Cultivo de Trucha.
- SKF. (s/f). 6300-2RSH - Rodamientos rígidos de bolas. Recuperado el 20 de junio de 2023, de <https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6300-2RSH>
- SKF. (2019). Rodamientos. https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf
- SSDielect. (2022). KIT MODULO DETECTOR PH PH-4502C + SONDA SENSOR E201 BNC. <https://ssdielect.com/sensores-para-medir-ph/888-kit-ss20.html>
- Tech Perú Industrial SAC. (2022). Brazo muestreador con canastilla. <https://techperuindustrial.com/producto/brazo-muestreador/>
- Tecnotanques. (2020). Tolva ¿Qué son y para qué sirven? <https://tecnotanques.com/tolva-que-son-y-para-que-sirven/>

Tritec Intervento. (2022). TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS. <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>

VARIPlast. (2022, agosto 25). Cajas Aislantes para Instalaciones Eléctricas: ¿Cuántas hay? <https://variplast.com.ar/cajas-aislantes-de-variplast/>

Wilson, J. (2020, septiembre 27). LM2596 Buck Converter Datasheet, Pinout, Features, Applications. <https://www.theengineeringprojects.com/2020/09/lm2596-buck-converter-datasheet-pinout-features-applications.html>



ANEXOS

ANEXO 1. Entrevista con el principal cliente

¿Cuántos kilogramos o toneladas de truchas producen por campaña?

Se puede extraer 20 kilogramos por día de las jaulas de crecimiento

¿En qué lugar exactamente se encuentran las jaulas flotantes (orilla más cercana, distrito o comunidad más cercana)?

Las jaulas están entre 100 y 150 metros de la orilla más cercana.

¿Desde qué año o mes está involucrado con las jaulas flotantes?

Se empezó con la asociación desde hace inicios de año, aunque hubo cambios de los dirigentes y se retrasó la cosecha de las truchas.

FUNCIONALIDAD

¿Suele monitorear la calidad de agua de sus jaulas flotantes?

Se va con el barco al menos una vez al día, no obstante, no se suele monitorear el agua; solo se va a ver la condición de las jaulas o problemas más observables. Normalmente se va dos veces al día

¿Tiene buena conectividad de internet en el lugar donde suelen llevar a cabo la extracción de las truchas (considerando la misma jaula y la orilla más cercana)?

Existe servicio de telefonía y redes 4G, pero la señal es baja y no permite el uso adecuado del internet.

¿Considera importante la creación de una red propia para el uso del sistema de monitoreo?

Sí, se puede considerar una red propia; pero siempre tener en cuenta el nivel de capacitación de los colaboradores de la asociación.

ESTÉTICA

¿Considera importante que los componentes no reflejen la luz, colores mate o colores no reflejantes?

Sí es importante, los componentes no deben reflejar la luz para no cegar a los que vayan a las jaulas

AUTOMATIZACIÓN

¿Quisiera que la máquina a diseñar sea totalmente autónoma?

No se tiene experiencia con los mecanismos complejos, se prefiere que el sistema sea totalmente autónomo y que no se requiera intervención de algún colaborador. De ser posible se puede tener un reporte simplificado de los parámetros a monitorear.

TRANSPORTABILIDAD

¿De qué tamaño o capacidad es la embarcación que utiliza para llegar hasta las jaulas flotantes?

El tamaño suficiente para llevar 20 o 25 kilos de truchas y 8 personas por embarcación, actualmente cuentan con una embarcación.

¿Cree que un sistema de monitoreo puede unirse a la jaula flotante de manera permanente?

Se puede adaptar el sistema de monitoreo a las jaulas flotantes, dado que la prioridad es transportar las truchas y se prefiere no manipular mucho el sistema de monitoreo

GEOMETRÍA

¿Qué tamaño suelen tener las jaulas flotantes y que peso soporta (Jaulas) los pasadizos de sus jaulas?

Se puede considerar dos formas de funcionamiento, para monitorear superficialmente y a una profundidad de 5 metros que es la profundidad de las jaulas. Las jaulas pueden soportar sin esfuerzo a 4 personas de 70 kilogramos. Así mismo, el sistema no debe interferir con la circulación de las personas sobre las jaulas.

COSTO

¿Tiene apoyo (subvención) de algún programa del Estado o privado? ¿Cuánto le costaría llevar a un especialista de monitoreo hasta sus jaulas?

Solo se tiene subvención del programa al inicio y se dan capacitaciones al inicio hasta las primeras semanas; luego no se tienen apoyo económico. Se debe considerar que los especialistas cobran por sus servicios, pero hasta el momento no se recurrió a ellos. Si el sistema está instalado debe tener una vida útil que justifique la inversión.

SEGURIDAD

¿Con qué probabilidad tuvo accidentes de los colaboradores cuando están en las jaulas, tienen experiencia con mecanismos mecánicos o eléctricos?

La asociación está compuesta de pobladores de las cercanías que se dedican principalmente a la agricultura y ganadería, por lo cual, no se tiene experiencia con mecanismos o aparatos eléctricos.

¿Tiene miedo que se pueda electrocutar a las personas o truchas de las jaulas flotantes?

Sí, se considera que el diseño debe contemplar mucha seguridad para no tener accidentes de riesgo eléctrico.

ENERGÍA

¿Considera importante el uso de paneles solares o alternativas similares para la obtención de energía?

Se puede utilizar paneles solares si se requiere y como alternativa eco amigable puede ser viable. Se puede combinar paneles solares y otras fuentes de electricidad de la zona

¿Cuenta con el servicio eléctrico constante o tiene cortes de luz más frecuentes?

Si se cuenta con servicio eléctrico constante, aunque algunos domingos se tiene problemas con la electricidad, se puede utilizar la electricidad del almacén de alimentos de truchas para cargar baterías u otros.

¿Le resulta costo el uso de energía eléctrica?

De ser posible no consumir mucha energía eléctrica, aunque el costo no es tan elevado. Es decir, no cobran tanto ni están dispuestos a pagar mucho.

ROBUSTEZ

¿Qué condiciones ambientales suelen afectar cuando camina por sus jaulas flotantes (fuerte viento, movimiento del agua)?

Cuando empieza a anochecer los vientos fuertes y la temperatura no permiten ir a las jaulas, si el sistema estará permanentemente en las jaulas se debe considerar el fuerte oleaje nocturno que mueve las jaulas de manera ondulante.

TIEMPO

¿Cuánto se demoran en atenderle cuando solicita un monitoreo de la calidad de agua de sus jaulas flotantes?

Primero se debe solicitar que los especialistas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno o del programa que los apoyo con la capacitación vayan hasta Sucuni ubicado a aproximadamente 4 horas de la capital de Puno donde se concentran los especialistas.

¿Con qué frecuencia suelen ir a sus jaulas para verificar la condición de sus truchas?

Se suele ir diariamente para verificar la condición de las jaulas y extraer una muestra de truchas para ver su salud.

USO

¿Qué altura promedio tiene sus colaboradores, considerando que puedan estar en contacto con un panel de control? ¿Considera viable generar una app para celulares?

Los trabajadores miden entre 165 a 170 cm en promedio, de tener un sistema o app para celulares, se debe tener mucha simplicidad.

¿Tuvo experiencia con paneles de control? ¿Entiende cómo funciona un botón de emergencia?

Se puede considerar un panel de control y una pantalla para ver los parámetros, pero no se tiene experiencia con paneles de control o botones de emergencia

ERGONOMÍA

¿Considera poco tolerable el alto ruido o emanaciones de gases?

Se considera importante que la máquina no haga ruido o sea poco perceptible

MANTENIMIENTO

¿Tiene alguna persona encargada de dar mantenimiento a las redes de las jaulas o algún especialista que fácilmente pueda dar mantenimiento?

Se prefiere que un especialista se encargue del mantenimiento del sistema, se debe tener claro la frecuencia de mantenimiento

ALIMENTACIÓN DE TRUCHAS

¿Con qué frecuencia suele alimentar a los peces y qué cantidad suele darles?

Se les da a las 7 am, medio día y entre las 4 y 5 pm, a las jaulas para truchas de alevinos se les da 2 kilogramos en cada horario y 1.5 kilogramos en cada horario. Existen jaulas separadas para alevinos y para truchas en crecimiento.

¿Dónde almacena el alimento de las truchas?

En un ambiente cerca de orilla dedicado exclusivamente para alimento de truchas.



ANEXO 2. Requerimientos y requisitos del usuario/cliente

La tabla 2.1. es resultado de la entrevista que se tuvo con la Asociación “Brisas de Mallco” Sucuni, además, se tuvo en consideración la opinión de Karol Villanueva quien trabajo en programas de capacidad productiva de truchas en la Laguna Paucarcocha. Además, las preguntas de la entrevista fueron transcritas en el primer anexo.

Tabla 2.1. Requerimientos y requisitos del usuario

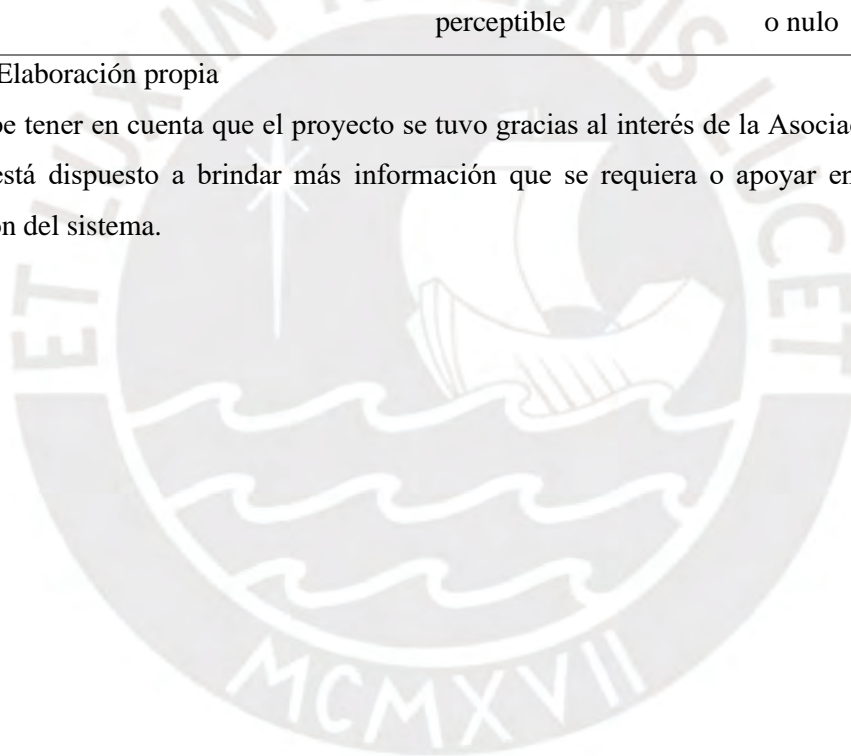
Cliente	Categoría	Requerimiento de cliente	Requisito de cliente
Asociación de Productores y Crianza de truchas “Brisas de Mallco” Sucuni	Funcionalidad	- Se evalúa al menos una vez al día las jaulas y la condición de las truchas, se requiere un monitoreo constante de las jaulas - Contar con un sistema de monitoreo remoto - Alimentar tres veces al día con 2 kg por turno	- Monitorear parámetros del agua cada 4 horas - Sistema de monitoreo remoto hasta 150 metros de distancia - Alimentar a las truchas con al menos 2 kg por turno
	Estética	- Colores que no reflejen como espejo	- Colores mate o anti reflejantes
	Automatización	- Totalmente autónomo	- Totalmente autónomo
	Transportabilidad	- Adaptar el sistema de monitoreo y el alimentador a las jaulas para no transportarlas mucho	- Componentes adaptados a las jaulas flotantes
	Geometría	- Las jaulas soportan hasta 560	- Peso que no desequilibre las jaulas

	kilogramos (8 personas de 70 kilos)	-	Dimensiones que no afecten a las jaulas
	- Dimensiones contenidas para no afectar la circulación de las personas		
Costo	- El costo es ajustable dado el tiempo de vida del sistema	-	Uso de piezas comerciales
Seguridad	- Lo suficientemente protegido por eléctrico.	-	Protección ante riesgo eléctrico
	- El sistema debe informar al usuario si existe alguna falla.	-	Reportar problemas al usuario
Energía	- Se cuenta con servicio eléctrico constante en la orilla, pero no en las jaulas flotantes	-	No consumir mucha energía
	- Se puede utilizar paneles solares	-	Energías renovables
Resistencia a las condiciones ambientales	- Considerar fuertes vientos y baja temperatura de la noche	-	Resistente al agua
	- Movimiento oscilante del agua y jaulas	-	Resistente a fuertes vientos
Tiempo	-	Los	Alimentar el monitoreo tres veces al día.
	especialistas no pueden dar monitoreo frecuente	utilizando	

	- Se alimenta 3 veces al día a las truchas	
Uso	- Fácil uso o manipulación del sistema	- Operación intuitiva
Mantenimiento	- Indicar la frecuencia del mantenimiento que requieren los componentes utilizados en el diseño	- Tiempo de vida útil de los componentes críticos
Ergonomía	- Ruido poco perceptible	- Poco ruido o nulo

Nota. Elaboración propia

Se debe tener en cuenta que el proyecto se tuvo gracias al interés de la Asociación “Brisas de Mallico” que está dispuesto a brindar más información que se requiera o apoyar en una potencial implementación del sistema.



ANEXO 3. Requisitos del cliente

A continuación, se presenta lo que el proyecto requiere para cumplir con los requisitos de cliente ya establecidos. A cada requisito de usuario se le asigna un factor de importancia (IF) dentro de un rango de 1 y 4, donde 4 representa la mayor importancia. Así mismo, los requisitos de diseño que están más relacionados a los requisitos de usuario.

Tabla 3.1. Requisitos de diseño

Requisitos de Usuario	Requisitos de diseño
- Monitorear parámetros del agua (IF=4)	- Monitorear pH, temperatura, oxígeno disuelto - Monitoreo remoto a 150 metros - Grado de automatización - Precisión del sistema - Información en tiempo real
- Sistema de monitoreo remoto (IF=3)	- Monitoreo remoto a 150 metros - Monitorear pH, temperatura, oxígeno disuelto - Indicadores para los parámetros
- Alimentación automática (IF=4)	9. Dispensador de alimento 10. Dispersado de alimento 11. Capacidad de almacenamiento
- Colores mate o anti reflejantes (IF=1)	- Colores mate
- Totalmente autónomo (IF=3)	- Grado de automatización - Precisión del sistema - Información en tiempo real
- Componentes adaptados a las jaulas flotantes (IF=3)	- Adaptar el monitoreo a las jaulas flotantes - Adaptar el alimentador a las jaulas flotantes
- Peso que no desequilibre las jaulas (IF=2)	- Sistema moderadamente ligero - Dar soporte de flotación a los componentes
- Dimensiones que no afecten a las jaulas (IF=2)	- Dimensiones ajustadas a las jaulas flotantes

- Uso de piezas comerciales (IF=2)	- Uso de piezas comerciales
- Protección ante el riesgo eléctrico (IF=2)	- Indicadores y medidas de protección - Interfaz simple
- Reportar problemas al usuario (IF=2)	- Precisión del sistema - Reportes de falla al usuario - Interfaz simple
- No consumir mucha energía (IF=2)	- Bajo consumo de energía - Energía renovable
- Energías renovables (IF=2)	- Energía renovable -Bajo consumo de energía
- Resistente al agua (IF=4)	- Resistente al agua
- Resistente a fuertes vientos (IF=4)	- Resistente a fuertes vientos - Adaptar a las jaulas flotantes -Dimensiones contenidas
- Monitorear frecuentemente los parámetros (IF=4)	- Información en tiempo real de los parámetros
- Operación intuitiva (IF=4)	- Interfaz simple
- Manual de mantenimiento (IF=2)	- Tiempo de vida útil de los componentes utilizados - Uso de piezas comerciales
- Poco ruido o nulo (IF=2)	- Ruido emitido menor a 60 dB - Indicadores

Nota. Elaboración propia

Finalmente, se determina las especificaciones de los requisitos del diseño; es decir, si el requisito es demanda o deseo. Los requisitos de diseño considerados demandan son importantes y se deben evaluar tanto técnica como económicamente. Además, se debe tener en cuenta valores del parámetro, método de verificación y peso relativo; el peso relativo es más importante si es 4 y menor importancia si es cero.

ANEXO 4. Requisitos del cliente y diseño conceptual

Tabla 4.1. Especificaciones de los requisitos del diseño conceptual

Requisito de diseño	Demanda (D) o deseo (W)	Clasificación técnica/económica	Valores del parámetro	Método de verificación	Peso relativo
Monitoreo de pH	D	T	pH óptimo entre 6.6 y 7.9 pH límite entre 5 y 9	Medir pH de un envase de agua en un ambiente controlado	3
Monitoreo de temperatura	D	T	Temperatura óptima entre 9 y 14 °C Temperatura límite entre 4 y 17 °C	Medir temperatura de un envase de agua en un ambiente controlado	4
Monitoreo de oxígeno disuelto	D	T	Oxígeno disuelto óptimo entre 6 y 8.5 mg/L Oxígeno disuelto límite entre 4.6 y 8.5 mg/L	Medir oxígeno disuelto de un envase de agua en un ambiente controlado	3
Monitoreo remoto a 150 metros	D	T	Monitor a una distancia entre 100 y 150 metros	Simular la comunicación inalámbrica con un celular	4
Dispensación de alimento automática	D	T	Dispensar entre 2 a 5 kg por horario de alimentación	Probar los mecanismos de	4

				dispensación en un prototipo	
Dispersión uniforme del alimento	D	T	Dispersión en un radio de 2 a 5 metros respecto al punto de almacenamiento	Probar los mecanismos de dispersión en un prototipo	4
Capacidad de almacenamiento	D	T	Entre 80 y 120 kilogramos por contenedor	Herramientas para medir el volumen del contenedor y conocer la densidad del alimento	4
Relleno del contenedor de alimento	D	T	Requiere un valor con dos posibles estados para saber cuándo rellenar	Probar al celular con un sensor simple que emule la lógica de funcionamiento.	3
Grado de automatización	D	T/E	Completamente autónomo	Comparación con la hoja de datos del dispositivo diseñado	3
Sistema moderadamente ligero	W	T/E	Peso máximo de 30 kilos de componentes	Simular y medir el peso total	1

Adaptación a las jaulas flotantes	D	T/E	Utilización de medidas de seguridad extra ante vientos y oleajes	Simular el sistema adaptado a las condiciones de las jaulas flotantes	2
Colores mate	W	T	Evitar que las superficies calienten por el sol	Verificación visual y medición con termómetro infrarrojo.	1
Dimensiones ajustadas a las jaulas flotantes	D	T/E	Altura máxima de 1.5 m y área transversal máxima de 1 m por 1 m	Simular y medir las dimensiones con un flexómetro	2
Indicadores	W	T	Indicadores para emergencias alerta de parámetros anormales	Simular los indicadores ante fallas eléctricas o mecánicas	2
Precisión del monitoreo	D	T	Precisión de los sensores cercano al 5%	Medir una vez antes del diseño real con una sonda multiparamétrica	2
Reportes de falla al usuario	W	T	Reportar cuando algún sensor o actuador falle	Ver el registro de fallas durante las simulaciones	2

Bajo consumo de energía	W	T	Energía para un monitoreo constante y alta consumo cuando funcione la dispensación y dispersión de alimento	Cálcul energético durante el diseño integral y prueba con un multímetro.	2
Energía renovable	D	T/E	100% de energía proveída por un sistema fotovoltaico	Prueba s con la simulación con componentes electrónicos cruciales	3
Resistente al agua	D	T/E	Material es resistente al agua	Prueba s con la simulación del sistema	2
Resistente a fuertes vientos	D	T/E	Centro de gravedad bajo para no desbalancearse	Prueba s con la simulación del sistema	2
Interfaz simple	D	T	Distribución simple e intuitiva en una pantalla de celular	Feedback del usuario y sketches del interfaz con storytelling	2
Uso de piezas de fácil adquisición por el usuario final	W	T	Piezas disponibles en el mercado interno o de marcas conocidas	Hoja técnica del dispositivo diseñado	1

Poco ruido o nulo	W	T	Ruido máximo de 60 dB	Determ inar el potencial ruido de los componentes a usar	2
------------------------------	---	---	--------------------------	---	---

Nota. Elaboración propia



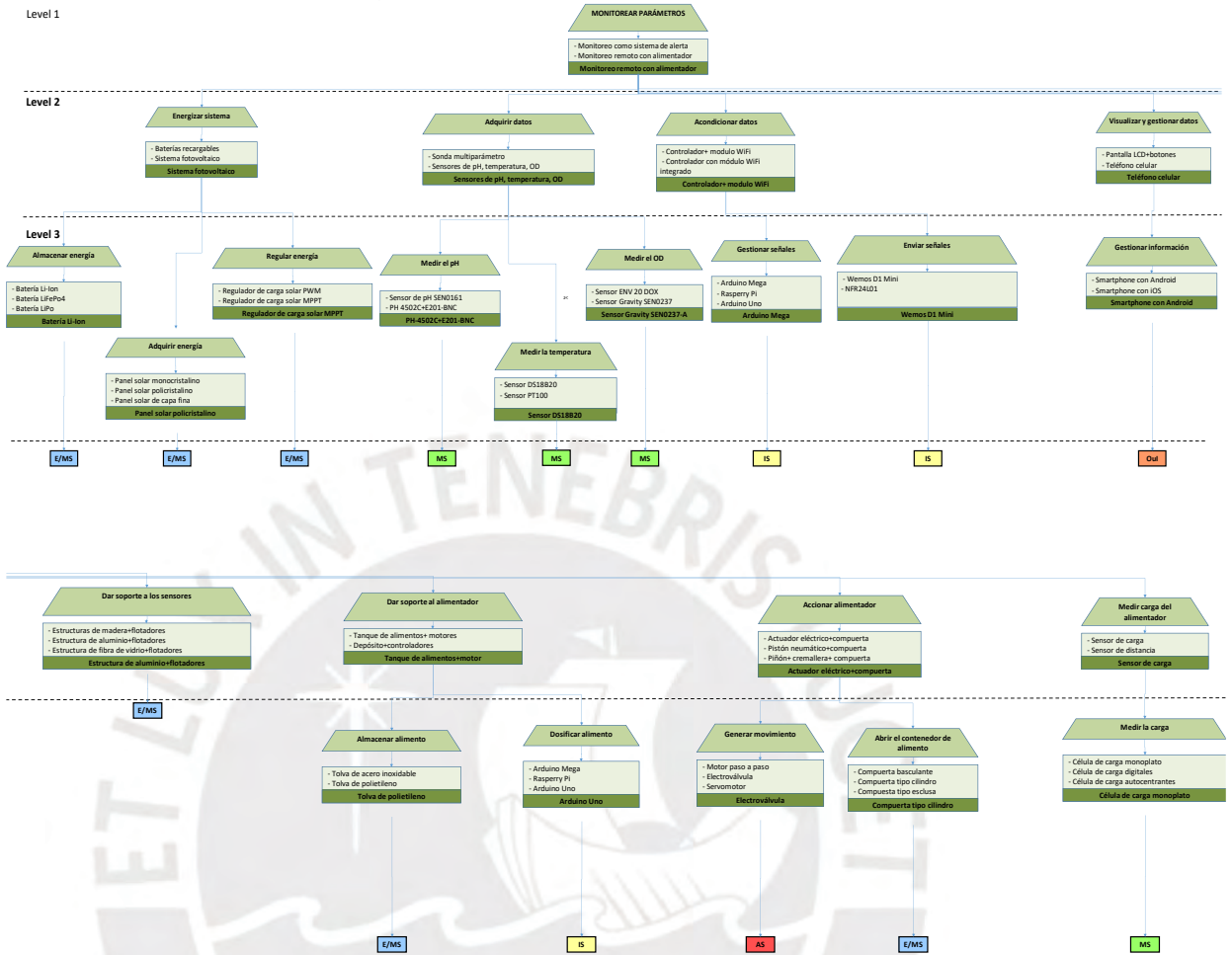
ANEXO 5. Matriz de requerimientos

User Requirements (What)																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18							
	Monitorar parámetros del agua	Sistema de monitoreo remoto	Colores mate	Totamente autónomo	Componentes adaptados a las jaulas flotantes	Peso que no desequilibre las jaulas	Dimensiones que no afecten a las jaulas	Precio negociable	Alarmas sonoras y luminosas	Reportar problemas al usuario	No consumir mucha energía	Energías renovables	Resistente al agua	Resistente a fuertes vientos	Monitores frecuente	Operación intuitiva	Manual de mantenimiento	Poco ruido o nulo							
#	4	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	2	2							
	Requirements list																								
	Design requirement (how)	Demand or Wish	Absolute weight (W _a)	Relative weight (W _r)	Technical/ Economic classification	Values (How much)	Verification Method																		
1	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	Monitorear pH	D	29	3	T	pH entre 6.5 y 9	Prueba con prototipo, sonda multiparametrica
2	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	Monitorear temperatura	D	29	3	T	Temperatura entre 10 °C y 17 °C	Prueba con prototipo, sonda multiparametrica
3	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	Monitorear oxígeno disuelto	D	29	3	T	Oxígeno disuelto mayor a 5.5 mg/L	Prueba con prototipo, sonda multiparametrica
4	2	2	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	Monitoreo remoto	D	46	4	T/E	Monitoreo a una distancia de 150 metros	Prueba con prototipo, feedback del usuario
5	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Colores mate	W	11	1	T	-	Verificación visual
6	2	1	0	2	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	Grado de automatización	D	38	3	T/E	Completamente autónomo	Comparación con la hoja de datos del dispositivo
7	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	Adaptar a las jaulas flotantes	D	28	2	T/E	Utilización de medidas de seguridad extra ante vientos o oleajes	Verificación visual y feedback del usuario
8	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	Sistema moderadamente ligero	W	15	1	T/E	Peso máximo de 10 kilos	Medición directa con una balanza
9	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0	Dimensiones contenidas	D	20	2	T/E	Altura máxima de 0.75 m y área transversal máxima de 0.3m por 0.3 m	Medición directa con un flexometro
10	1	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	Precio negociable	W	18	2	E	Precio máximo de 3 000 soles	Feedback del usuario
11	1	2	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	2	Indicadores	W	27	2	T	Indicadores para emergencia o alerta de parámetros anormales	Inspección visual
12	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	Precisión del sistema	D	21	2	T	Precisión de los sensores no mayores al 5%	Medición con sonda multiparametrica
13	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1	1	1	Reportes de falla al usuario	W	21	2	T	Reportar cuando algún sensor falle	Feedback del usuario
14	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	2	2	0	0	1	0	0	0	Bajo consumo de energía	W	26	2	T	Energía para un monitoreo constante	Cálculo energetico
15	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	2	1	0	1	0	0	0	Energía renovable	W	21	2	T/E	Al menos 50% de energía proveida por energías renovables	Pruebas con prototipo o cálculo energetico
16	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	Resistente al agua	D	23	2	T/E	Materiales resistentes al agua	Prueba con prototipo
17	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	Resistente a fuertes vientos	D	24	2	T/E	Centro de gravedad bajo para no desbalancearse	Prueba con prototipo
18	2	1	0	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	Información en tiempo real	D	36	3	T	Valores monitoreados cada 4 horas	Visualización de datos registrados
19	0	1	0	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0	0	Interfaz simple	D	22	2	T	Panel claro y señalizado	Feedback del usuario
20	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	Manual de uso	W	16	1	T	Indicaciones, procedimiento, diagrama de operación	Hoja técnica del dispositivo
21	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	Uso de piezas comerciales	W	16	1	T	Piezas disponibles en el mercado interno o de marcas conocidas	Hoja técnica del dispositivo
22	1	1	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	Poco ruido o nulo	W	20	2	T	Ruido máximo de 60 dB	Medición con sonómetro y feedback del usuario
Status	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK							

Add column Remove column
Add row Remove row

Nota. Elaboración propia

ANEXO 6. Árbol de funciones y medios



ANEXO 7. Bosquejos físicos del trabajo del diseño conceptual
Bosquejo general

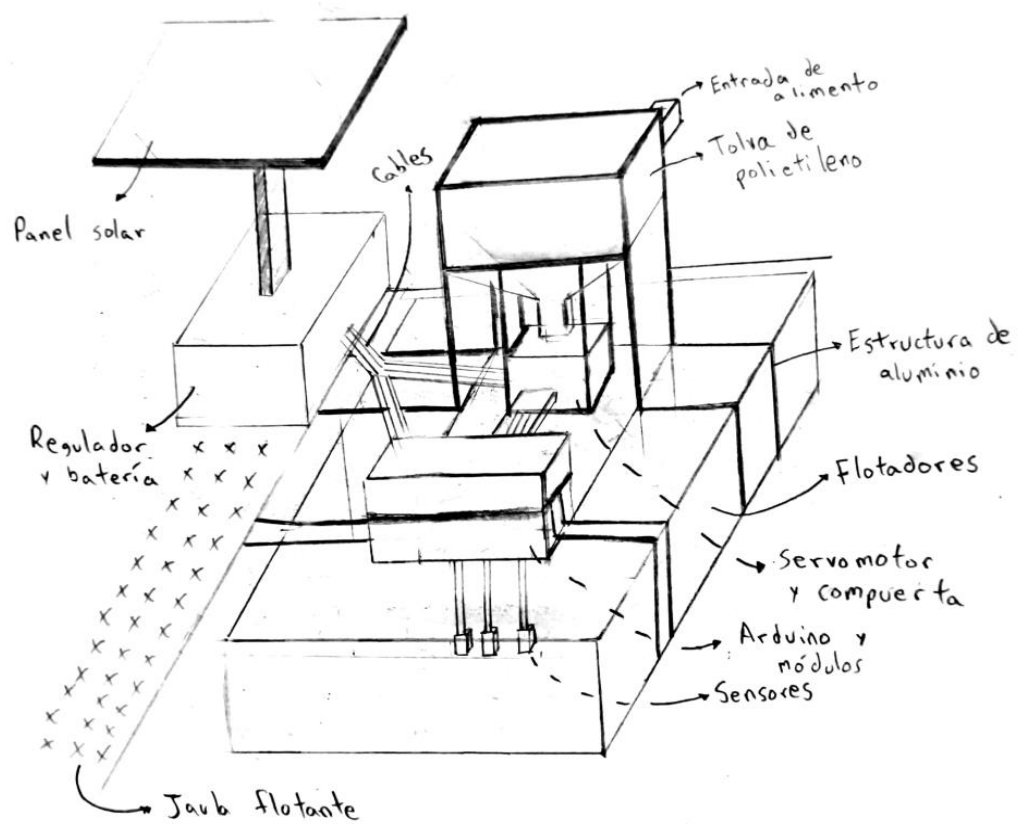


Figura 7.1. Bosquejo general del sistema en la jaula flotante

Nota. Elaboración propia

Bosquejo del sistema fotovoltaico

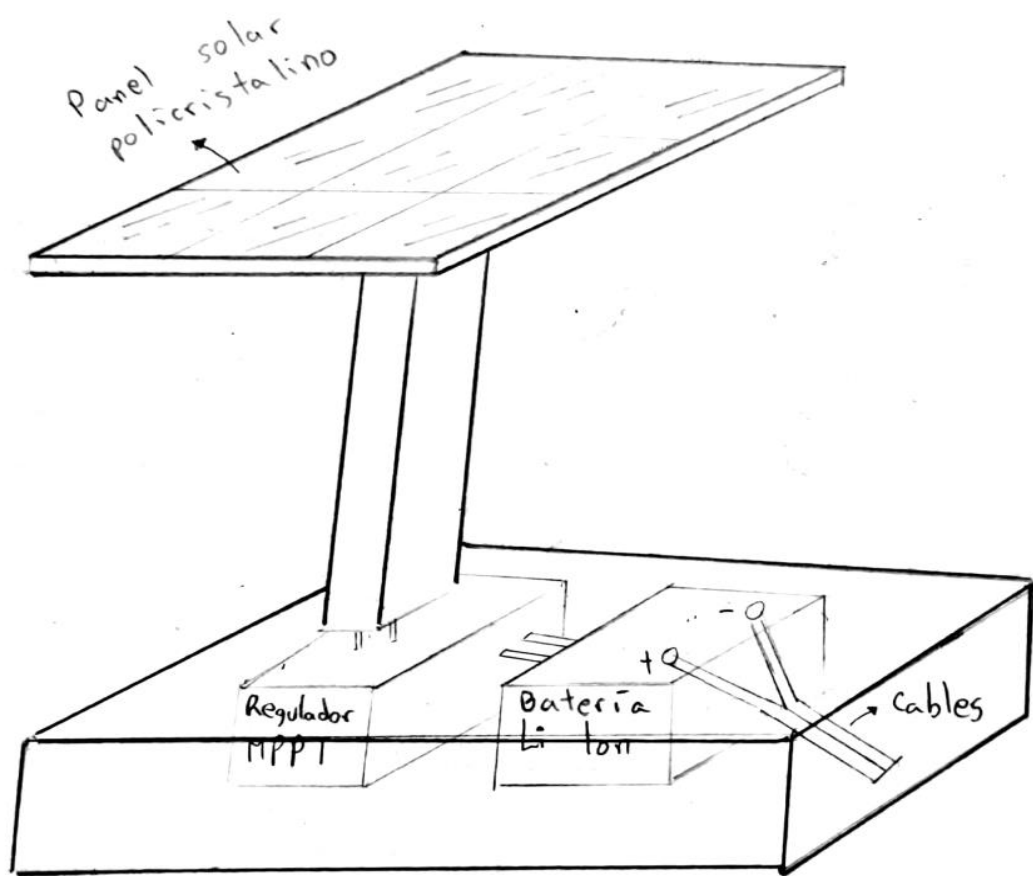


Figura 7.2. Bosquejo del sistema fotovoltaico con vista de sus componentes internos

Nota. Elaboración propia

ANEXO 8. Diagramas de flujo y graficet del diseño conceptual

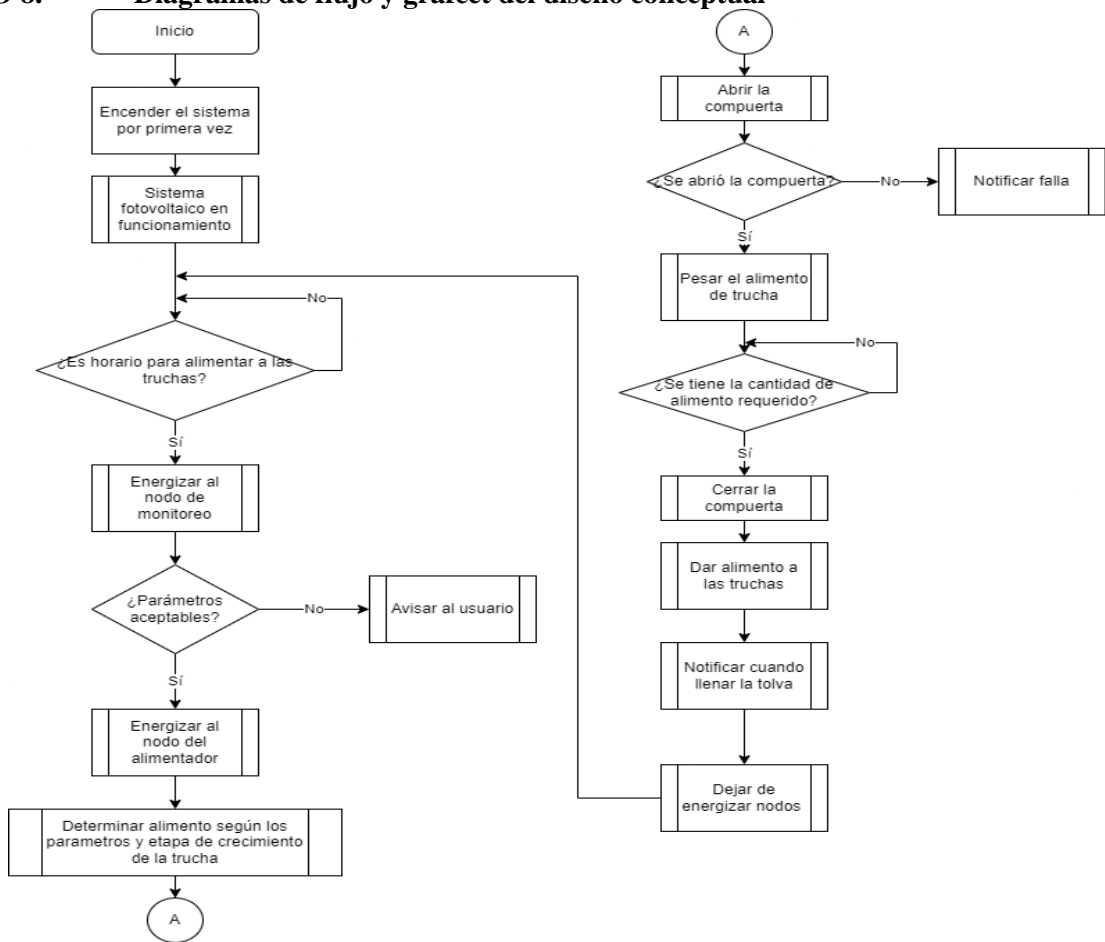


Figura 8.1. Diagrama de flujo del funcionamiento general

Nota. Elaboración propia

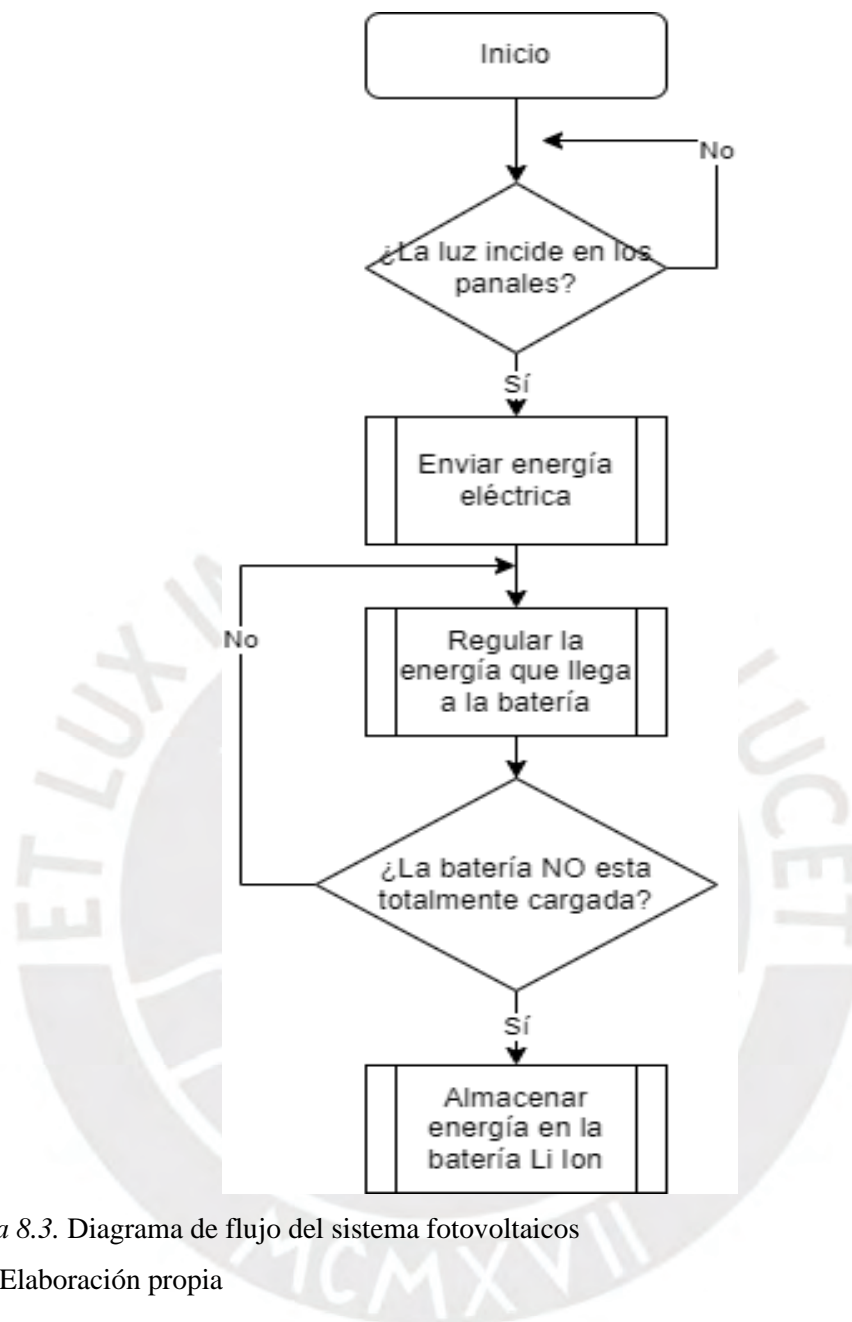






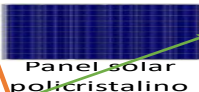






























Figura 8.3. Diagrama de flujo del sistema fotovoltaicos

Nota. Elaboración propia

ANEXO 9. Matriz morfológica

La solución 1 es representada por la flecha naranja, la solución 2 es representada por la flecha azul y la tercera solución es representada por la flecha verde.

Tabla 9.1. Matriz morfológica de las soluciones más viables

Functions	Working principle 1	Working principle 2	Working principle 3
Almacenar energía	 Batería Ni-Ion	 Batería LiFePo4	 Batería LiPo
Adquirir energía	 Panel solar monocristalino	 Panel solar policristalino	 Panel solar de capa fina
Regular energía	 Regulador de carga solar PWM	 Regulador de carga solar MPPT	
Medir el pH	 Sensor de pH SEN0161	 PH-4502C+E201-BNC	
Medir la temperatura	 Sensor DS18B20	 Sensor PT100	
Medir el OD	 Sensor ENV 20 DOX	 Sensor Gravity SEN0237-A	
Gestionar señales	 Arduino Mega	 Raspberry Pi	 Arduino Uno
Enviar señales	 Wemos D1 Mini	 NRF24L01	
Gestionar información	 Smartphone con Android	 Smartphone con iOS	
Almacenar alimento	 Tolva de acero inoxidable	 Tolva de polietileno	
Dosificar alimento	 Arduino Mega	 Raspberry Pi	 Arduino Uno
Generar movimiento	 Motor paso a paso	 Electroválvula	 Servomotor
Abrir el contenedor de alimento	 Compuerta basculante	 Compuerta tipo cilindro	 Compuerta tipo esclusa
Medir la carga	 Célula de carga mono-plato	 Célula de carga digitales	 Célula de carga autocentrantes

Nota. Elaboración propia

ANEXO 10. Evaluación técnica – económico

La tabla de evaluación técnica y económica es una herramienta para determinar por la solución que será más evaluada en los siguientes capítulos hasta llegar al diseño integrado y un modelo que lo represente.

Tabla 10.1. Evaluación técnica y económica del nivel 3

Evaluation Chart										
Design Criteria	j=	1		2		3		o		
		Solution 1		Solution 2		Solution 3		Optimal		
		W _{s1}	W _{s1} ·W _r	W _{s2}	W _{s2} ·W _r	W _{s3}	W _{s3} ·W _r	W _o	W _o ·W _r	
i=	Technical analysis									
1	Monitoreo remoto	4	3	12	2	8	3	12	4	16
2	Grado de automatización	3	3	9	3	9	3	9	4	12
3	Adaptar a las jaulas flotantes	2	2	4	3	6	3	6	4	8
4	Sistema moderadamente ligero	1	2	2	3	3	3	3	4	4
5	Dimensiones contenidas	2	2	4	3	6	3	6	4	8
6	Precisión del sistema	2	3	6	4	8	2	4	4	8
7	Bajo consumo de energía	2	3	6	2	4	1	2	4	8
8	Energía renovable	2	3	6	1	2	2	4	4	8
9	Resistente al agua	2	3	6	2	4	2	4	4	8
10	Resistente a fuertes vientos	2	3	6	2	4	2	4	4	8
11	Interfaz simple	2	3	6	2	4	2	4	4	8
12	Uso de piezas comerciales	1	2	2	3	3	2	2	4	4
Total technical value		T_{t1}	69	T_{t2}	61	T_{t3}	60	T_{to}	100	
Relative technical value		R_{t1}	0.69	R_{t2}	0.61	R_{t3}	0.60	R_{to}	1.00	
i=	Economic analysis									
13	Monitoreo remoto	4	2	8	3	12	2	8	4	16
14	Grado de automatización	3	2	6	3	9	2	6	4	12
15	Adaptar a las jaulas flotantes	2	2	4	2	4	2	4	4	8
16	Dimensiones contenidas	2	2	4	3	6	2	4	4	8
17	Energía renovable	2	3	6	2	4	1	2	4	8
18	Resistente al agua	2	3	6	2	4	2	4	4	8
19	Resistente a fuertes vientos	2	3	6	2	4	2	4	4	8
Total economic value		T_{e1}	40	T_{e2}	43	T_{e3}	32	T_{eo}	68	
Relative economic value		R_{e1}	0.59	R_{e2}	0.63	R_{e3}	0.47	R_{eo}	1.00	
Hyperbolic rating		H_{r1}	0.64	H_{r2}	0.62	H_{r3}	0.53	H_{ro}	1.00	

Nota. Elaboración propia

La solución 2 usa paneles monocristalinos, un Smartphone con iOS, Raspberry Pi que hacen lo relacionado a energía renovable, interfaz simple, bajo consumo de energía tengan menor valoración. La solución 3 utiliza paneles de capa fina, un sensor de oxígeno disuelto ENV 20 DOX, una célula autocentrante haciendo que la valoración económica sea menor porque esos elementos no son baratos en relación a las soluciones 1 o 2. La solución 1 tiene como elementos relevantes al panel solar monocristalino, tolva de polietileno, Arduino Mega, célula de carga monoplato. La primera solución combina los componentes que serán reflejados en la arquitectura mecatrónica y los bosquejos físicos.

ANEXO 11. Código preliminar para el subsistema de monitoreo

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <WiFi.h>
#include <AsyncTCP.h>
#include <ESPAsyncWebServer.h>

// Pin de conexión del sensor DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 4

// Instancia del sensor DS18B20
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// Instancia del servidor web
AsyncWebServer server(80);

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  // Inicialización del sensor DS18B20
  sensors.begin();
  // Creación de una red Wi-Fi con el ESP32
  WiFi.softAP("NombreDeRedWiFi", "ContraseñaDeRedWiFi");

  IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
  Serial.print("Dirección IP: ");
  Serial.println(myIP);

  // Configuración de las rutas del servidor web
  server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request){
    String html = "<html><body>";
    html += "<h1>Temperatura:</h1>";
    float temperatura = sensors.getTempCByIndex(0);
    html += "<p>";
    html += String(temperatura);
    html += " &#8451;</p>"; // Agrega el símbolo del grado Celsius

    if (temperatura >= 10 && temperatura <= 40) {
      html += "<p>Temperatura adecuada</p>";
    }
    html += "</body></html>";
    request->send(200, "text/html", html);
  });

  // Inicio del servidor web
  server.begin();

```

```
}  
  
void loop() {  
  // Lectura de la temperatura del sensor DS18B20  
  sensors.requestTemperatures();  
  float temperatura = sensors.getTempCByIndex(0);  
  delay(1000);  
}
```



ANEXO 12. Pseudocódigos

```

// Librerías necesarias
#include <Servo.h>
// Definición de pines
const int temperaturaPin = A0; // Pin analógico para el sensor de temperatura
const int tamanoPin = A1; // Pin analógico para el sensor de tamaño
const int motorPin = 9; // Pin digital para el control del motor

// Variables globales
Servo motor; // Objeto de la biblioteca Servo
int temperatura = 0; // Variable para almacenar la temperatura
int tamano = 0; // Variable para almacenar el tamaño
int vueltas = 0; // Variable para almacenar la cantidad de vueltas
void setup() {
  // Inicialización de los pines
  pinMode(temperaturaPin, INPUT);
  pinMode(tamanoPin, INPUT);
  pinMode(motorPin, OUTPUT);
  // Configuración inicial del motor
  motor.attach(motorPin);
}
void loop() {
  // Lectura de los sensores
  temperatura = analogRead(temperaturaPin);
  tamano = analogRead(tamanoPin);
  // Mapeo de los valores leídos a un rango de vueltas
  vueltas = map(tamano, 0, 1023, 0, 100); // Ajusta los valores 0 y 1023 según el rango real
de tu sensor

  // Control del motor basado en la temperatura
  if (temperatura > 50) {
    motor.write(180); // Gira el motor en sentido horario a máxima velocidad
  } else {
    motor.write(0); // Detiene el motor
  }
  // Imprime la cantidad de vueltas en el monitor serial
  Serial.print("Cantidad de vueltas: ");
  Serial.println(vueltas);
  delay(500); // Pausa para evitar lecturas demasiado rápidas
}

```

ANEXO 13. Simulación de esfuerzos

Type: Von Mises Stress
Unit: MPa
25/06/2023, 19:22:12

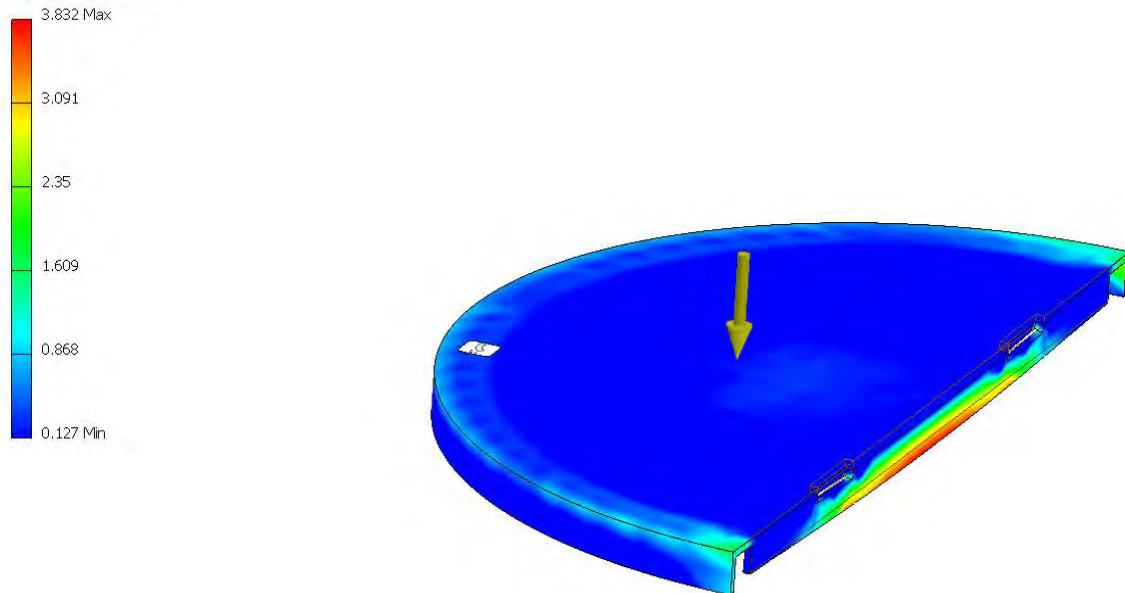


Figura 13.1. Tapa donde se soporta el panel solar

Nota. Elaboración propia

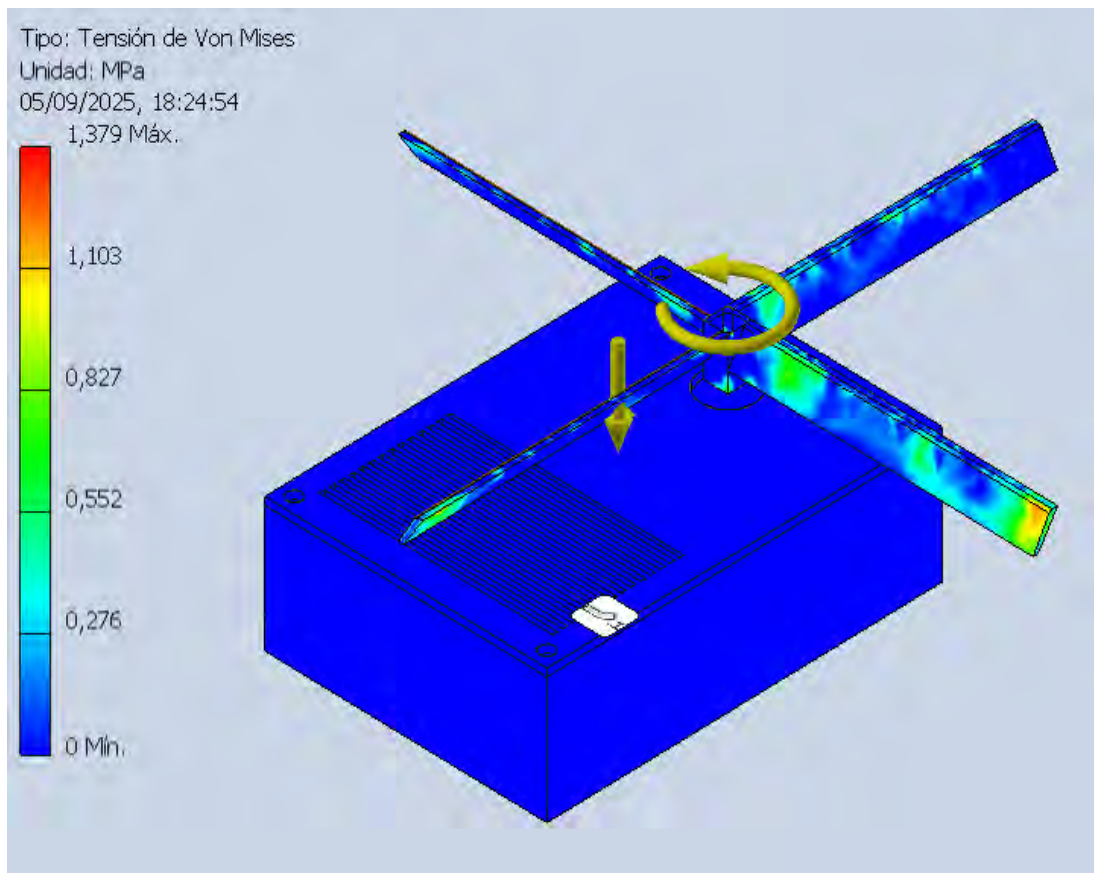


Figura 13.2. Simulación de tensión en el distribuidor

Nota. Elaboración propia

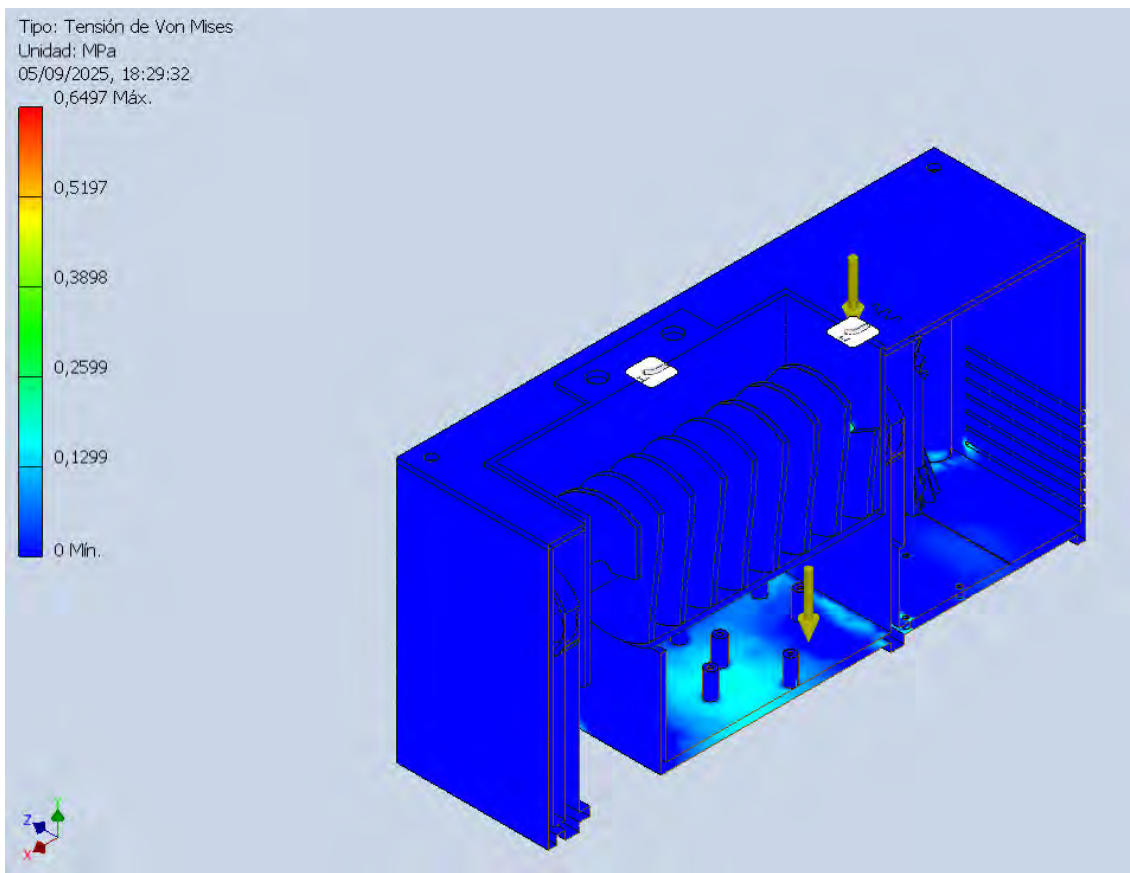


Figura 13.3. Simulación de tensión en el dosificador

Nota. Elaboración propia

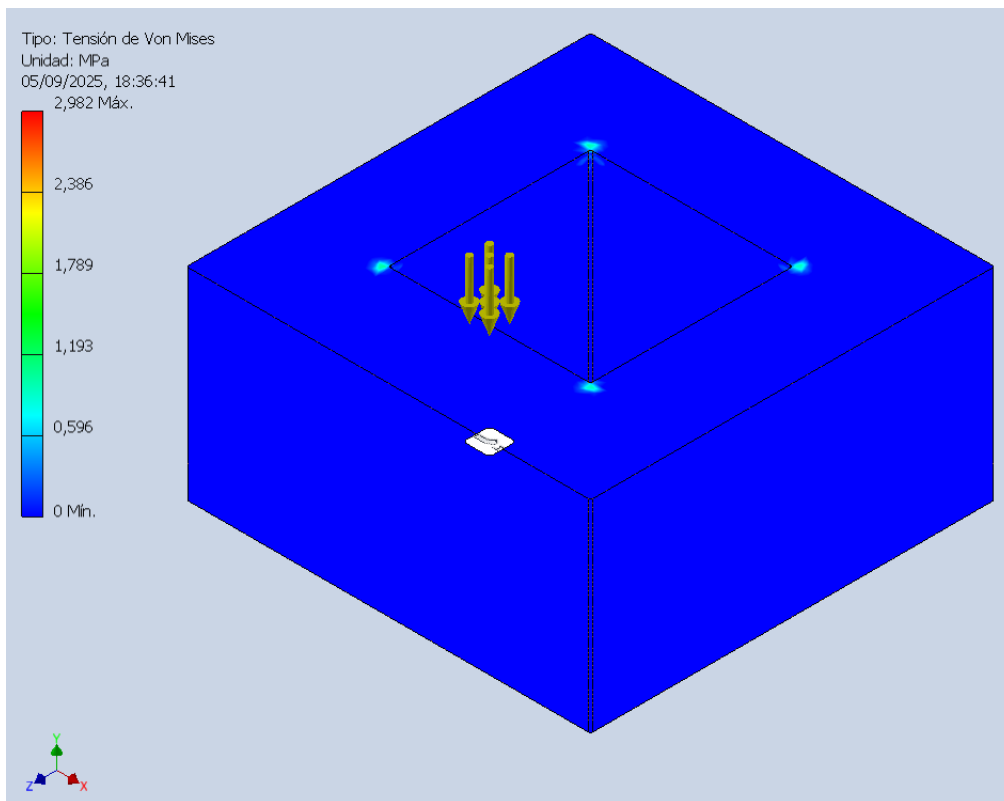
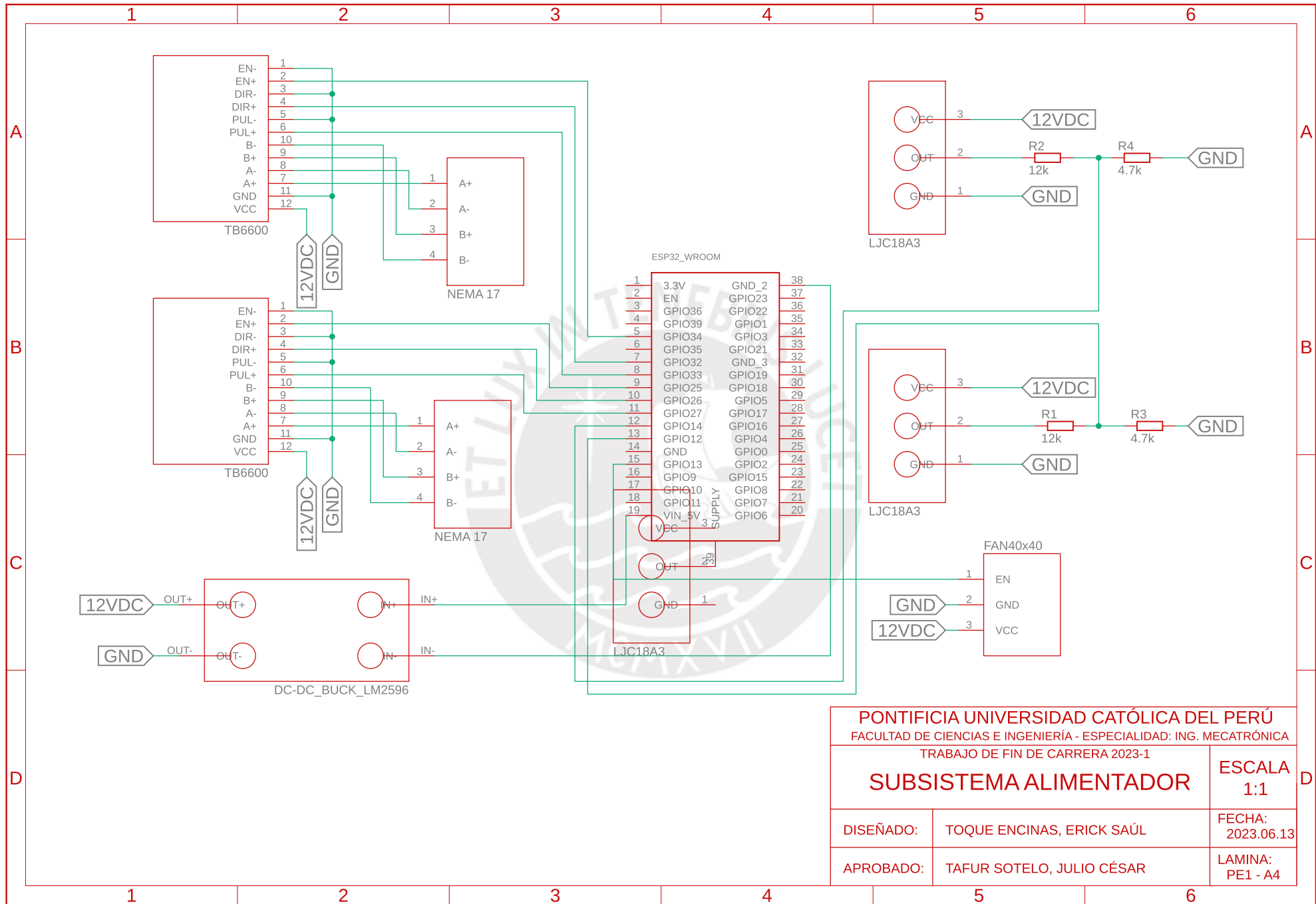


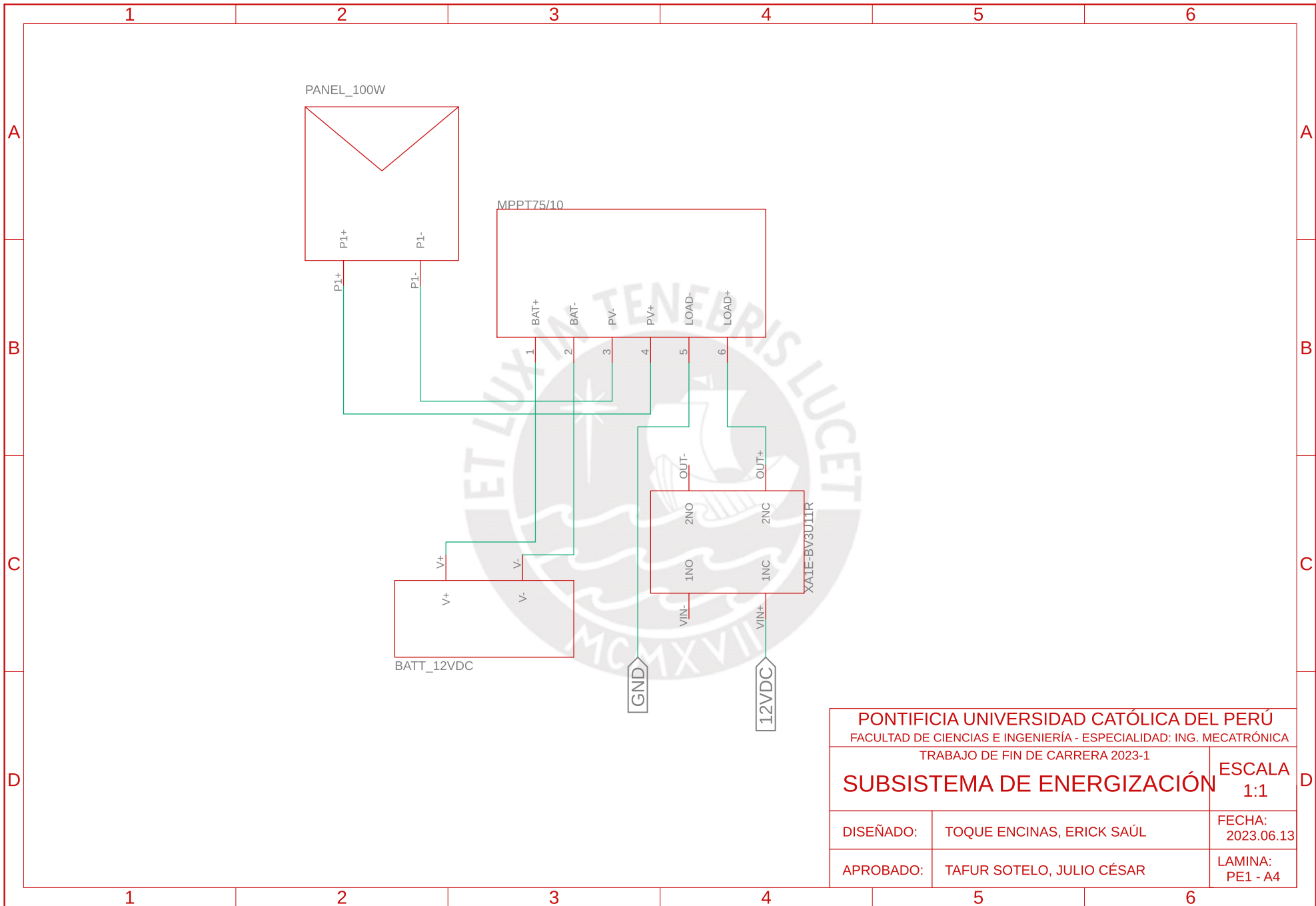
Figura 13.4. Simulación de tensión en el flotador

Nota. Elaboración propia

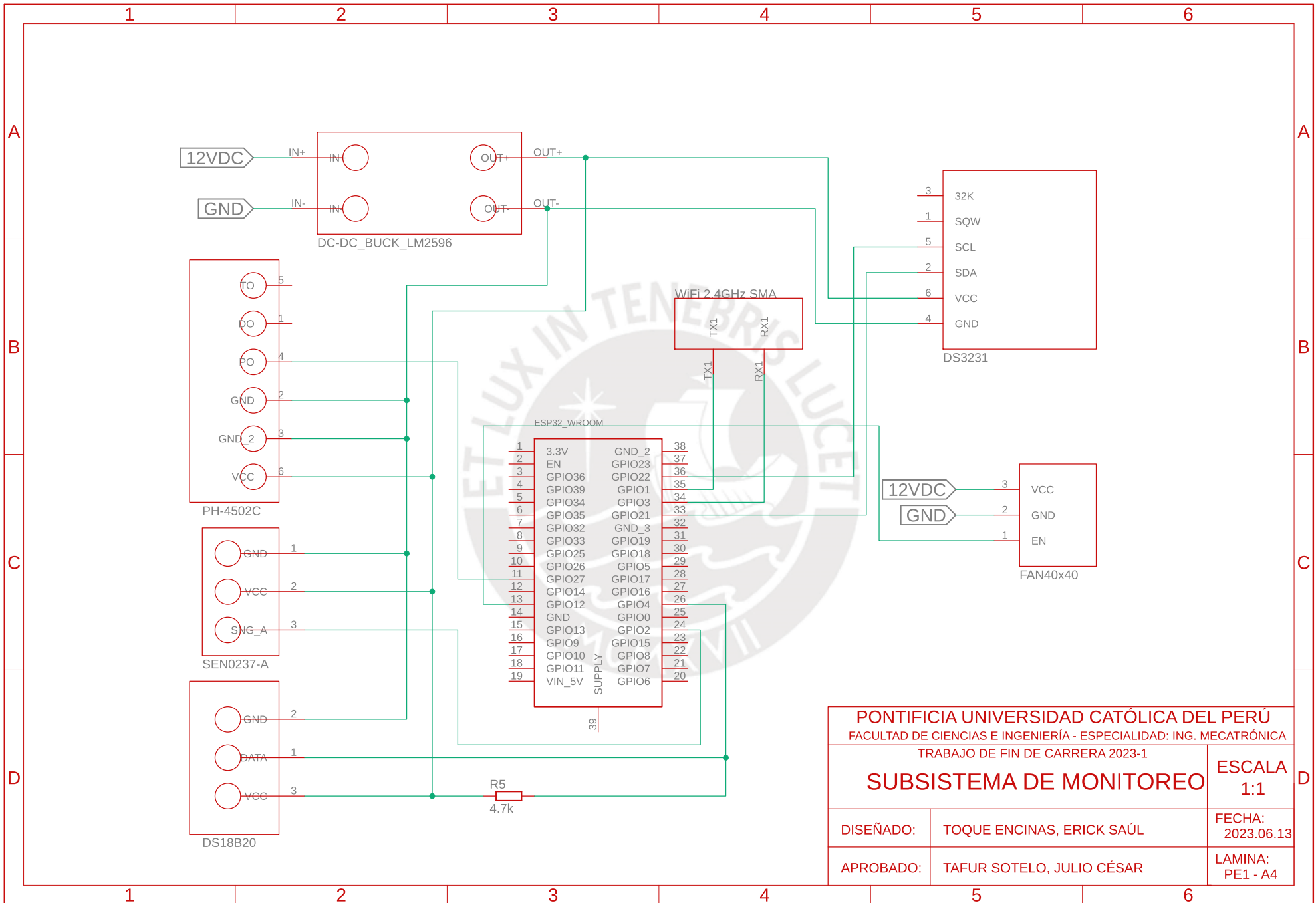
ANEXO 14. Planos electrónicos y mecánicos



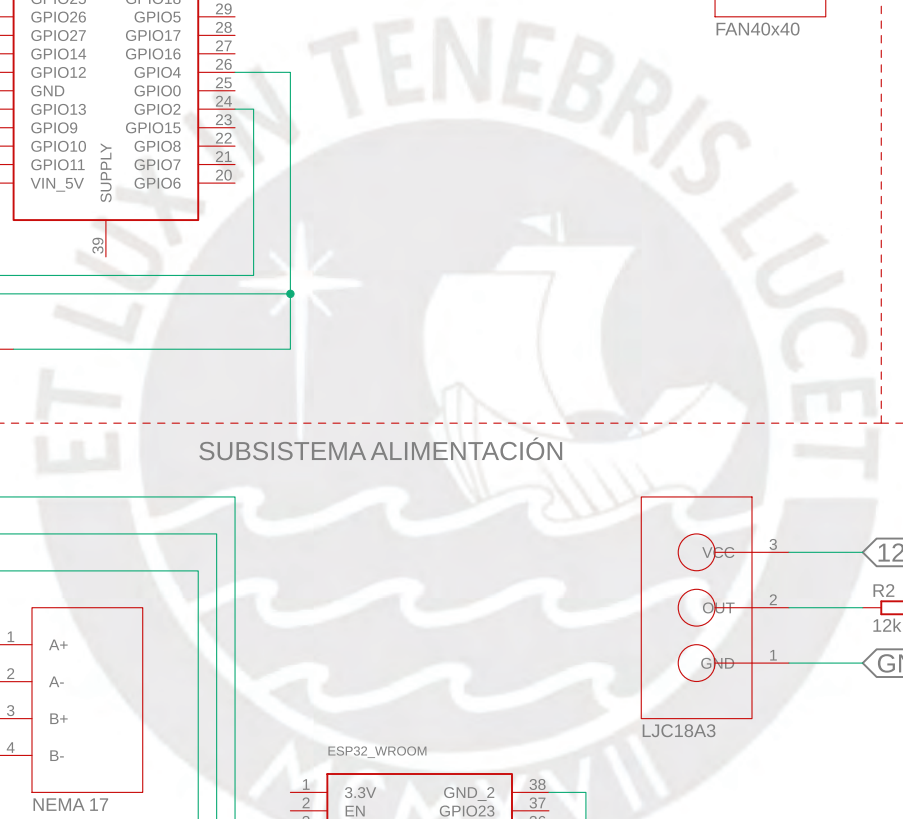
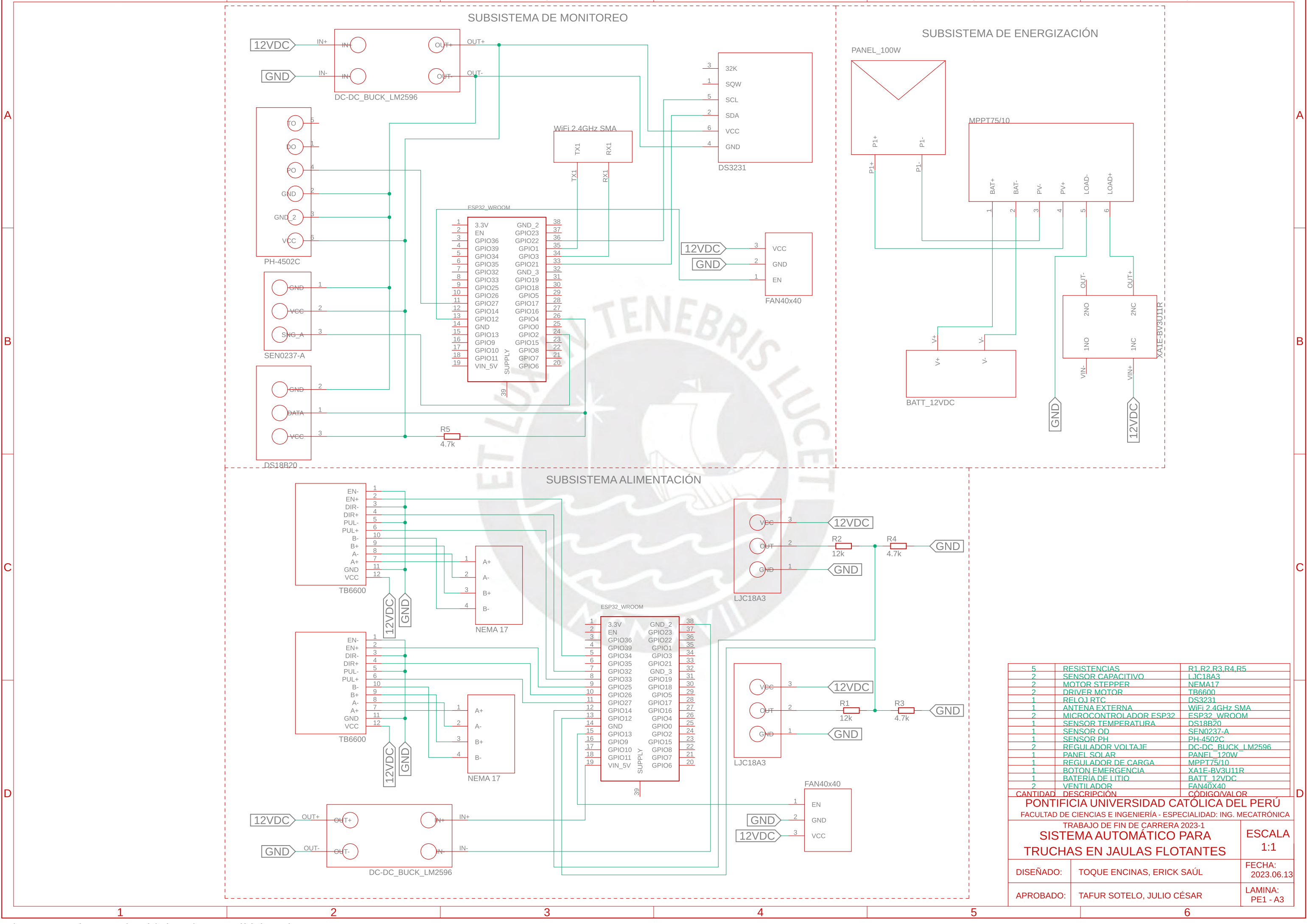
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRÓNICA TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2023-1		
SUBSISTEMA ALIMENTADOR		ESCALA 1:1
DISEÑADO:	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.13
APROBADO:	TAFUR SOTELO, JULIO CÉSAR	LAMINA: PE1 - A4



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRÓNICA TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2023-1		
SUBSISTEMA DE ENERGIZACIÓN		ESCALA 1:1
DISEÑADO:	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.13
APROBADO:	TAFUR SOTELO, JULIO CÉSAR	LAMINA: PE1 - A4

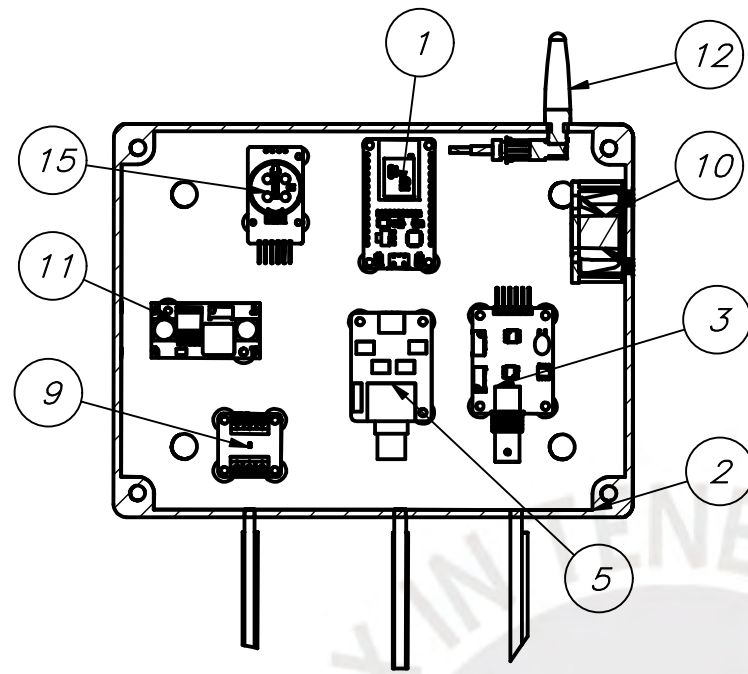
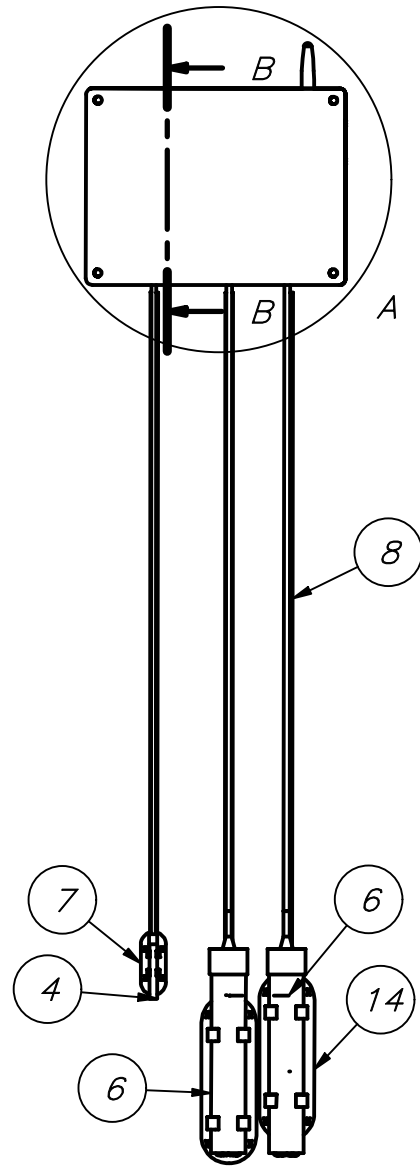


PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRÓNICA		
TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2023-1		
SUBSISTEMA DE MONITOREO		ESCALA 1:1
DISEÑADO:	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.13
APROBADO:	TAFUR SOTELO, JULIO CÉSAR	LAMINA: PE1 - A4

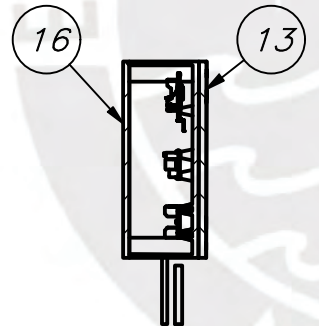


CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO/VALOR
5	RESISTENCIAS	R1,R2,R3,R4,R5
2	SENSOR CAPACITIVO	LJC18A3
2	MOTOR STEPPER	NEMA17
2	DRIVER MOTOR	TB6600
1	REL. Q. RTC	DS3231
1	ANTENA EXTERNA	WiFi 2.4GHz SMA
2	MICROCONTROLADOR ESP32	ESP32_WROOM
1	SENSOR TEMPERATURA	DS18B20
1	SENSOR OD	SEN0237-A
1	SENSOR PH	PH-4502C
2	REGULADOR VOLTAJE	DC-DC_BUCK_LM2596
1	PANEL SOLAR	PANEL_120W
1	REGULADOR DE CARGA	MPPT75/10
1	BOTON EMERGENCIA	XA1E-BV3U11R
1	BATERIA DE LITIO	BATT_12VDC
2	VENTILADOR	FAN40X40

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		
TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2023-1		
SISTEMA AUTOMATICO PARA TRUCHAS EN JAULAS FLOTANTES		ESCALA 1:1
DISEÑADO:	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.13
APROBADO:	TAFUR SOTELO, JULIO CÉSAR	LAMINA: PE1 - A3



DETALLE A
ESCALA 1 : 3



CORTE B-B

Incluir Pernos y tuercas donde corresponda

LISTA DE PIEZAS				
16	1	Tapa distribuidor		HDPE
15	1	Circuito HW-84 v7		Generico
14	2	SopORTE sonda OD, PH		Generico
13	1	SopORTE nodo monitoreo		Acero galvanizado
12	1	Antena externa		Generico
11	1	Circuito BuckConverter		Generico
10	1	Ventilador 40x20x20mm		Generico
9	1	Circuito Pull-up		Generico
8	3	Cable		Acero galvanizado
7	1	SopORTE sonda temperatura		Acero galvanizado
6	2	Sondas PH, OD		Generico
5	1	Interfaz PH		Generico
4	1	Sonda DS18B20		Generico
3	1	Sonda PH-4502C		Generico
2	1	Carcasa distribuidor		HDPE
1	1	ESP32		Generico

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL Genérico
------------------------------	---	----------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ING. MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL 000	ESCALA 1:6
--------------------------	--------	---------------

20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
----------	---------------------------	----------------------

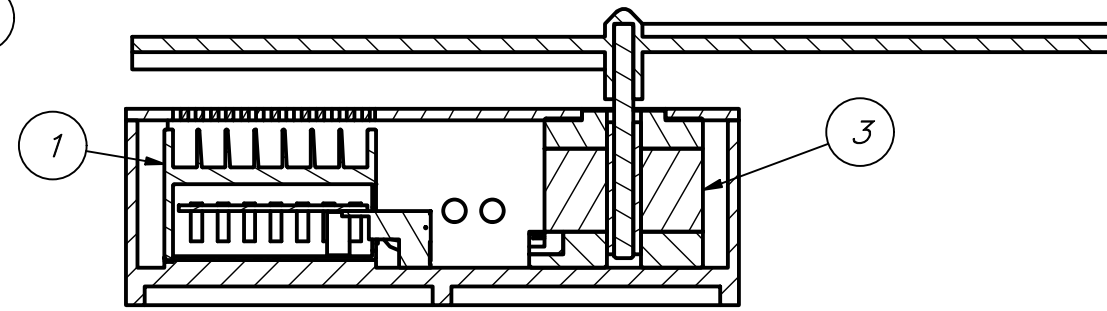
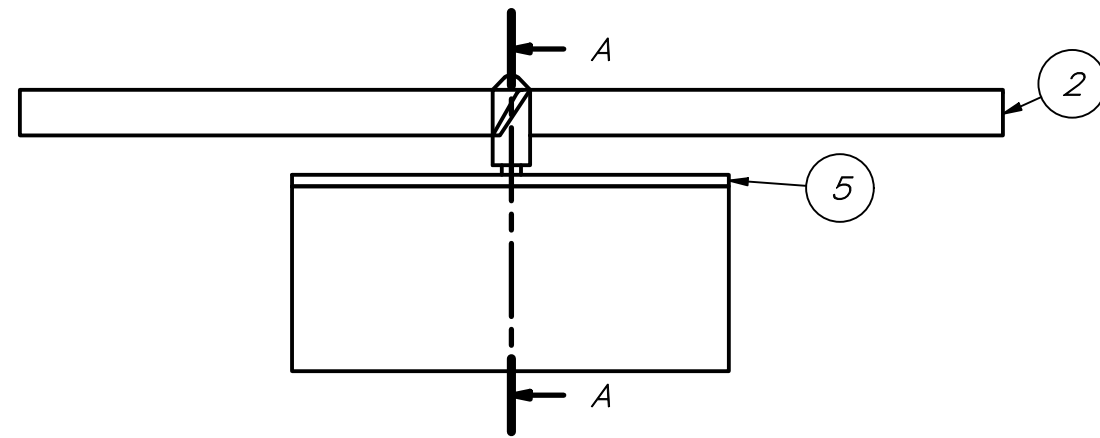
		LÁMINA: A3
--	--	---------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

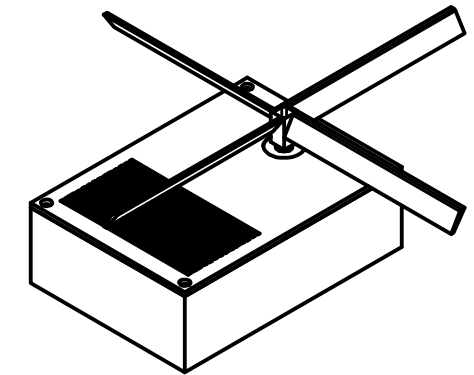
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

Medidas en mm

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

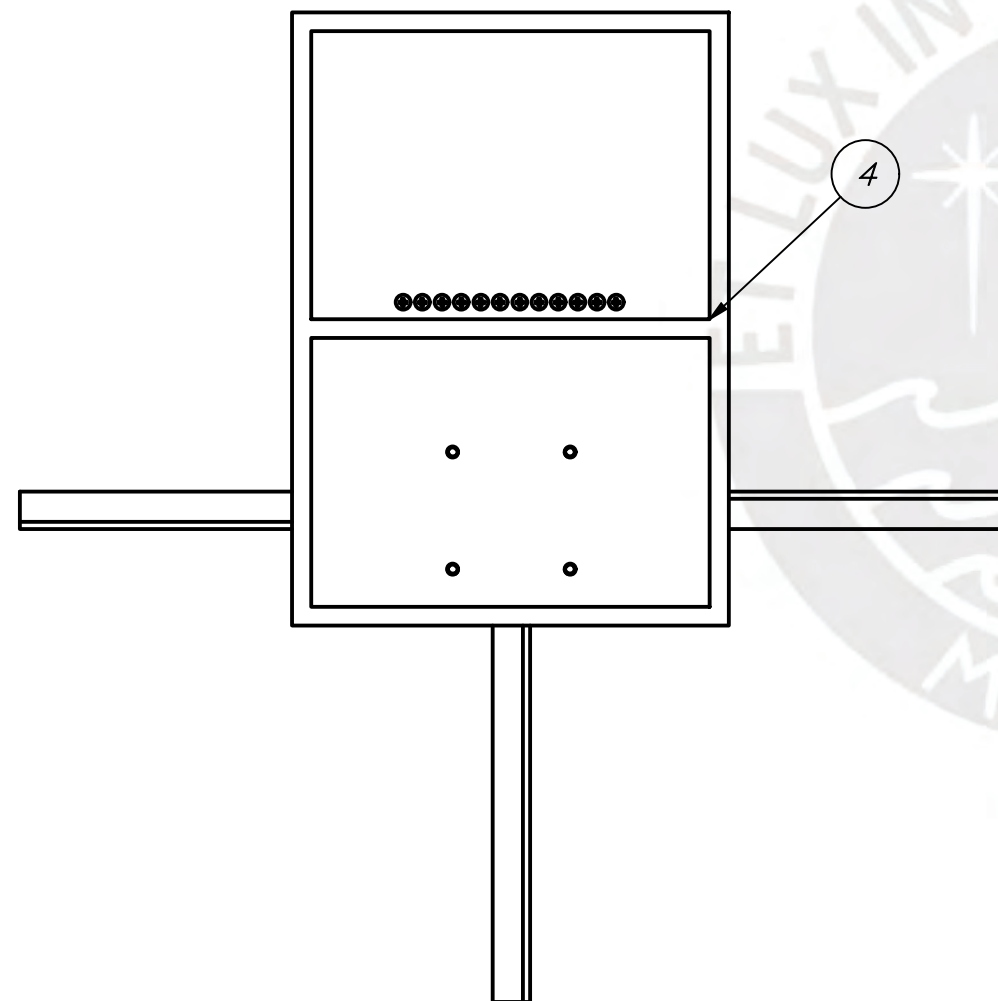


CORTE A-A



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:4

Incluir Pernos y tuercas donde corresponda



LISTA DE PIEZAS				
5	1	Tapa del distribuidor	ASTM D3350-21	HDPE
4	1	Carcasa del distribuidor	ASTM D3350-21	HDPE
3	1	Motor NEMA17		Generico Producto comercial
2	1	Paletas	ASTM D3350-21	HDPE
1	1	Driver TB6600		Generico Producto comercial

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL Genérico
------------------------------	---	----------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ING. MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL M01	ESCALA 1:2
--------------------------	--------	---------------

20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
----------	---------------------------	----------------------

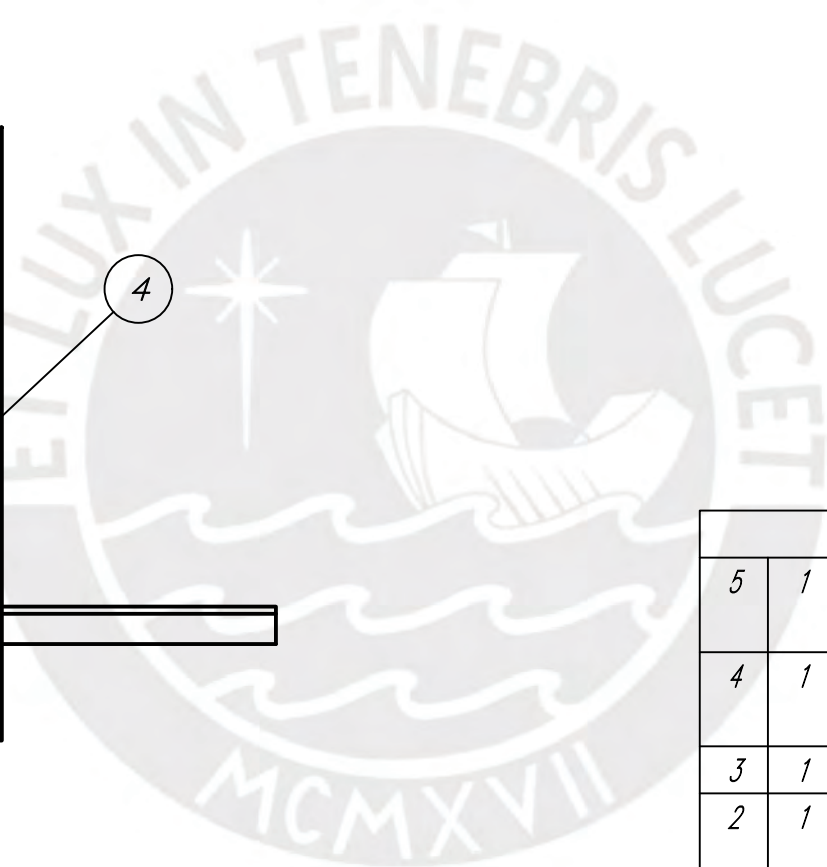
		LÁMINA: A4
--	--	---------------

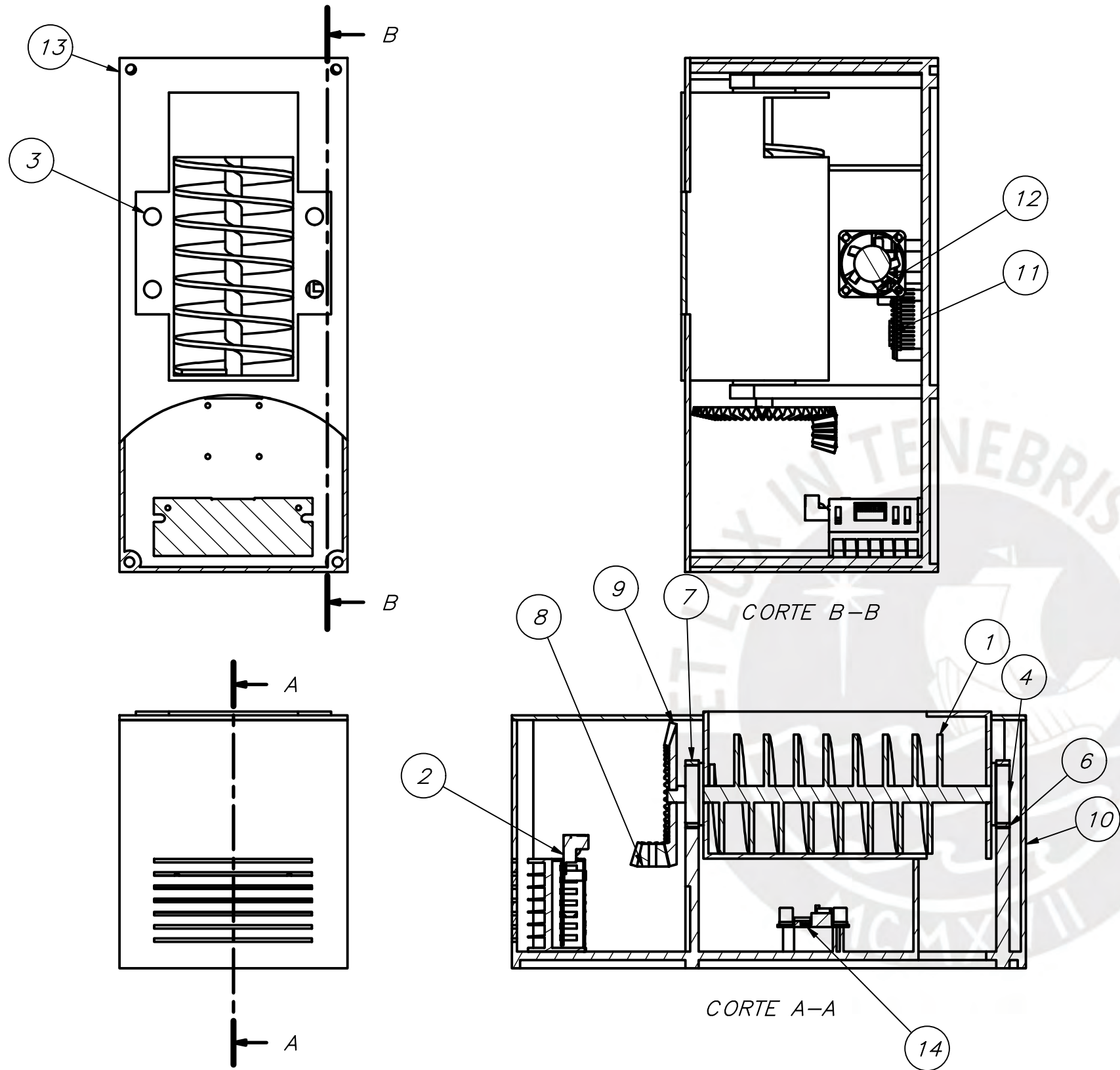
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

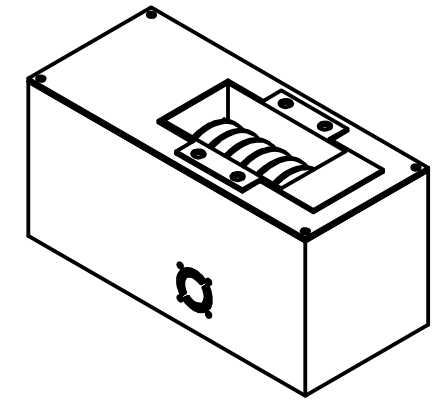
Medidas en mm

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------





VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:6



LISTA DE PARTES

15	1	NEMA17		Steel	Unido al Diente conico de mejor diametro
14	1	Buck Conversor		Generic	Producto comercial
13	1	Tapa del dosificador		Polyethylene, High Density	
12	1	Ventilador		Generic	Producto comercial
11	1	ESP 32		Generic	Producto comercial
10	1	Carcasa del dosificador		Polyethylene, High Density	
9	1	Diente cónico de mayor diametro		Steel, Mild	
8	1	Diente cónico de menor diametro		Steel, Mild	
7	1	Soporte rodamiento		Polyethylene, High Density	
6	1	Soporte rodamiento		Polyethylene, High Density	
4	2	Rodamiento F 6300-2Z GB/T 7218	GB/T 7218-2013	Acero, suave	Producto comercial
3	1	Soporte Tornillo		Steel, Galvanized	
2	1	Driver TB6600		Generic	Producto comercial
1	1	Tornillo sinfin		Steel, Mild	

ACABADO SUPERFICIAL
3,2/
√

TOLERANCIA GENERAL
DIN 7168
GRADO MEDIO

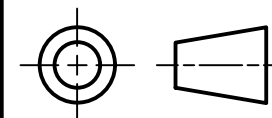
MATERIAL
Genérico

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ING. MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN

PL-M02

ESCALA



NODO DOSIFICADOR

1:3

20153026

TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL

FECHA:
2023.06.24

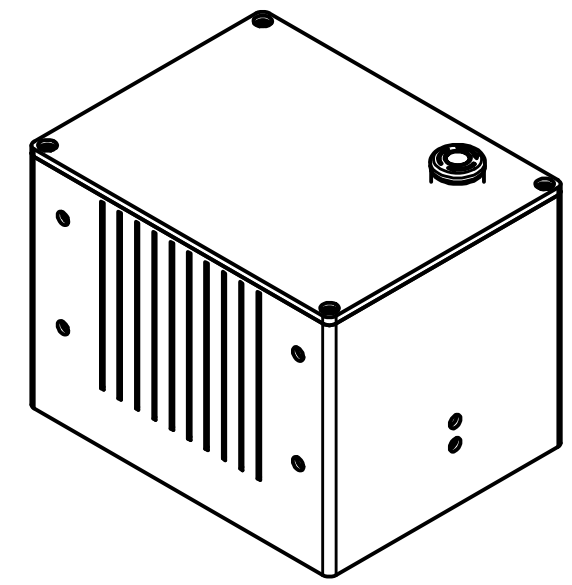
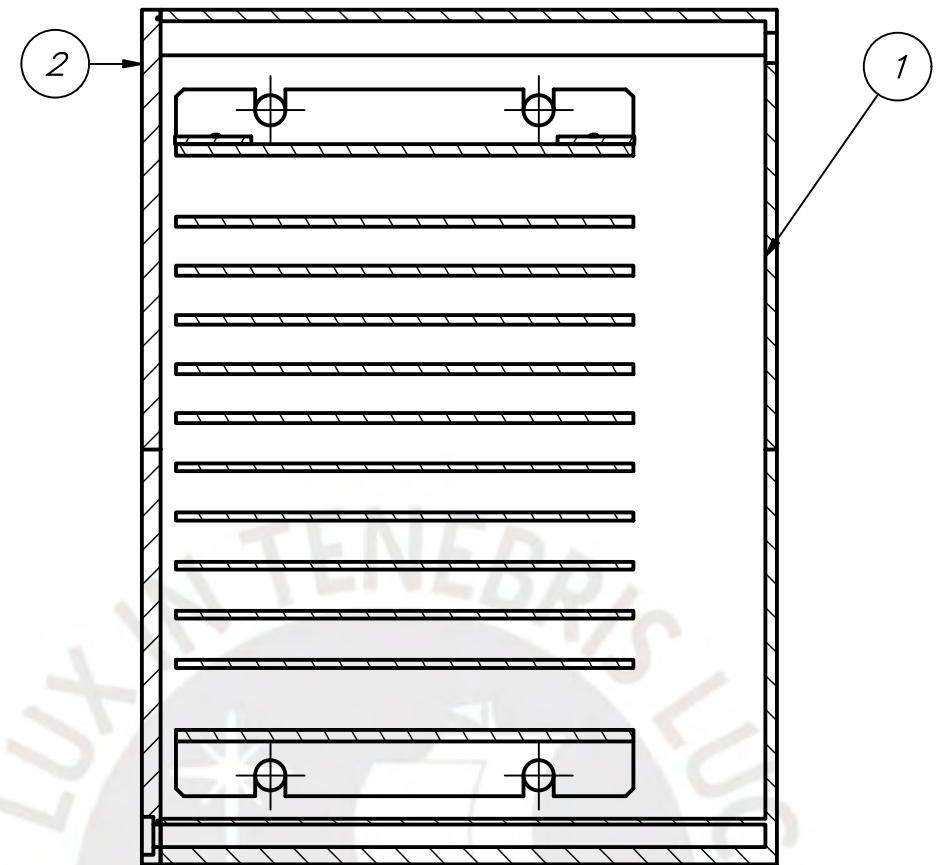
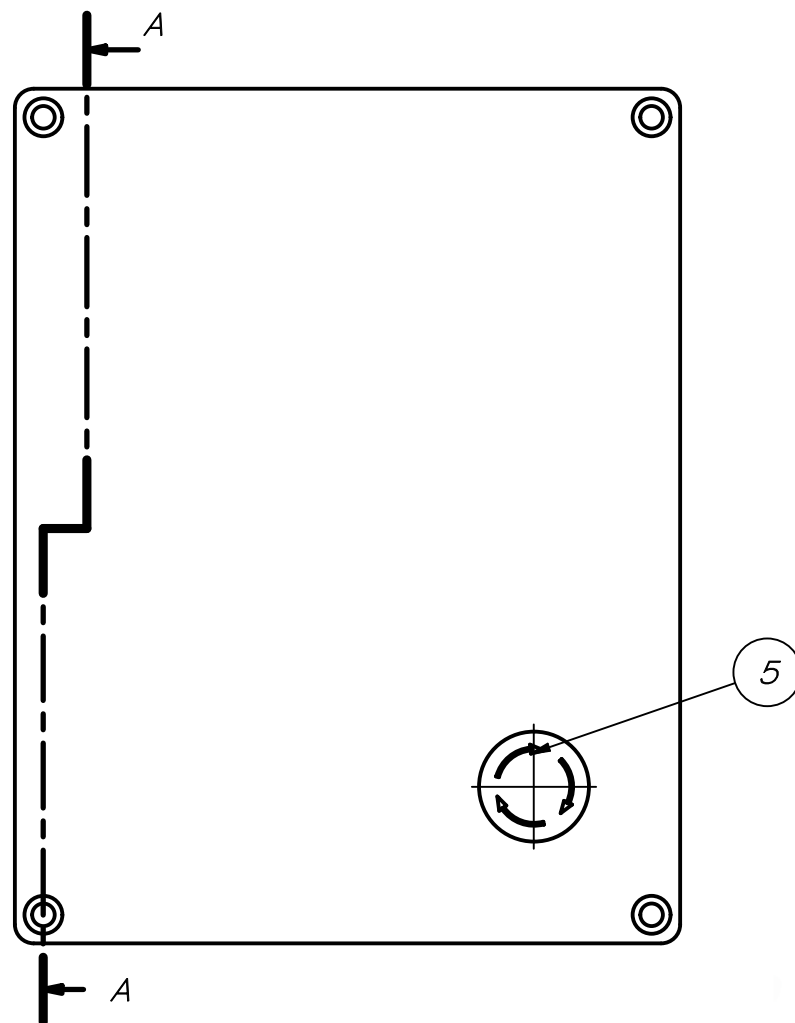
LÁMINA:
A3

Incluir Pernos y tuercas donde corresponda

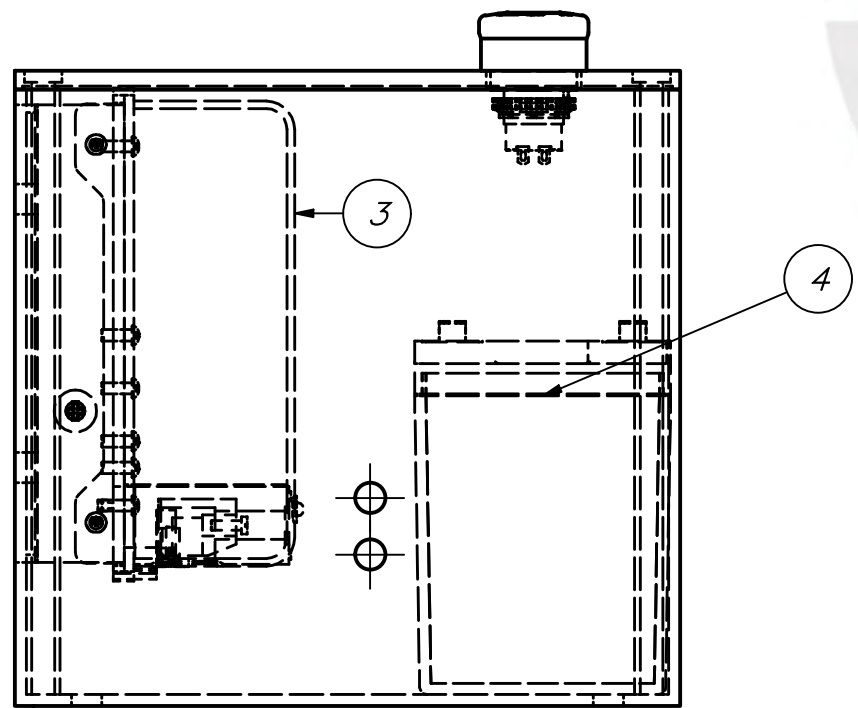
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:4



CORTE A-A

PARTS LIST				
5	1	Boton de emergencia	Generico	Producto comercial
4	1	Bateria 12V	Generico	Producto comercial
3	1	MPPT-100-50-3D	Generico	Producto comercial
2	1	Tapa nodo de energía	HDPE	
1	1	Caja nodo de energía	HDPE	

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
------------------------------	---	------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ING. MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M03	ESCALA 1:2
--------------------------	--------	---------------

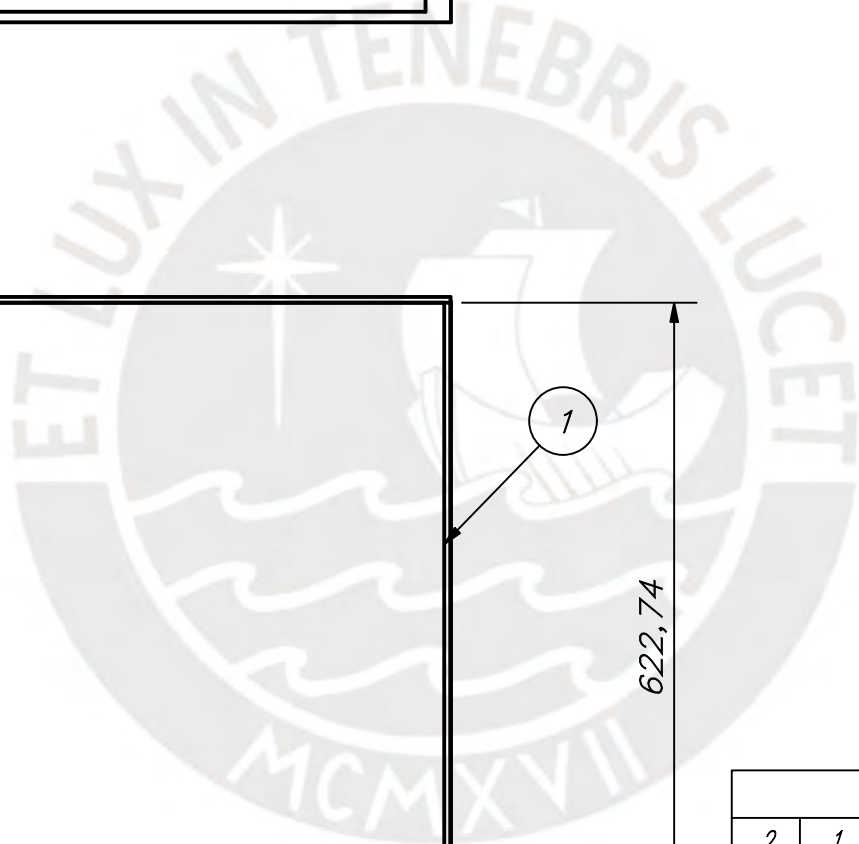
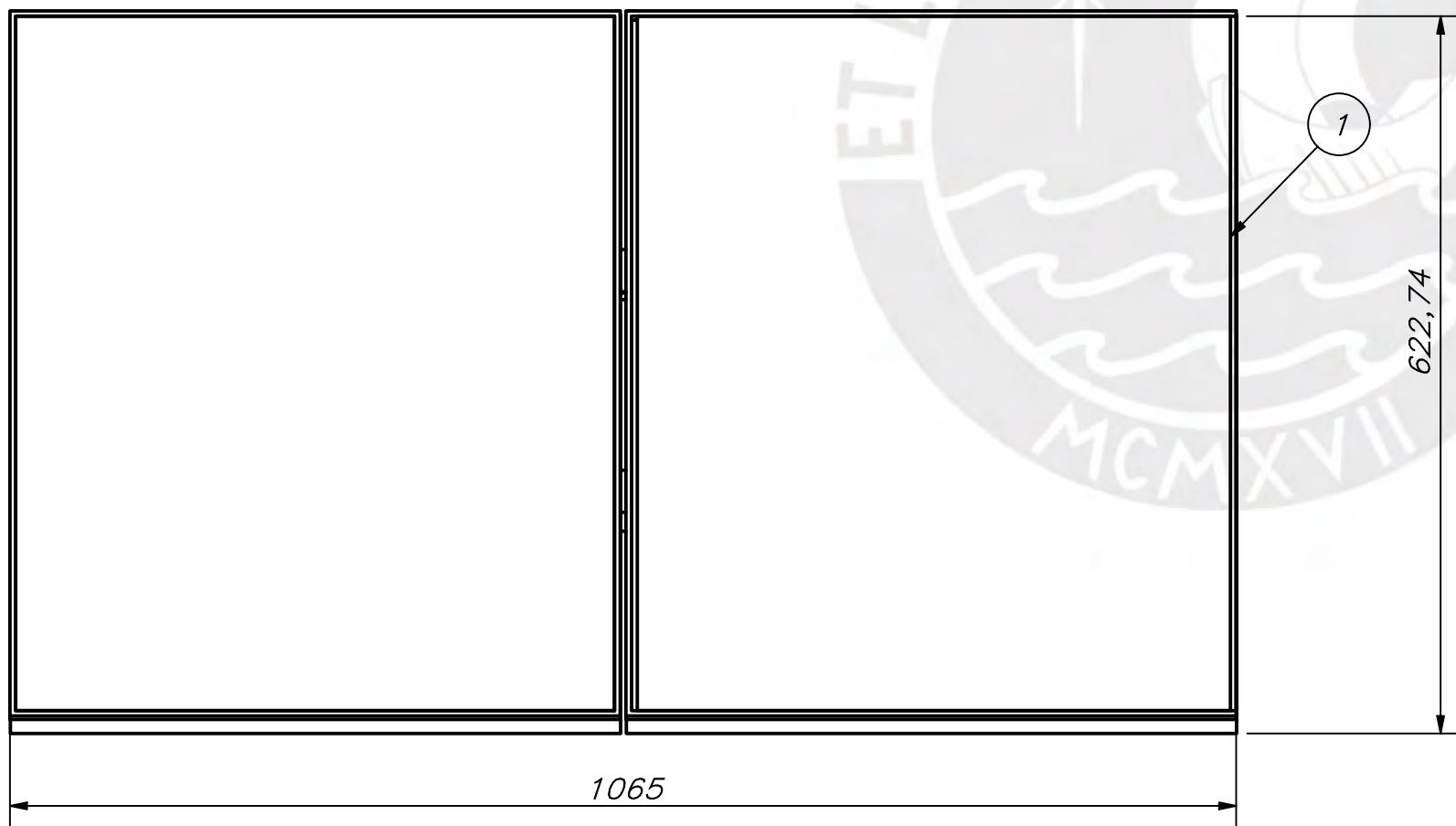
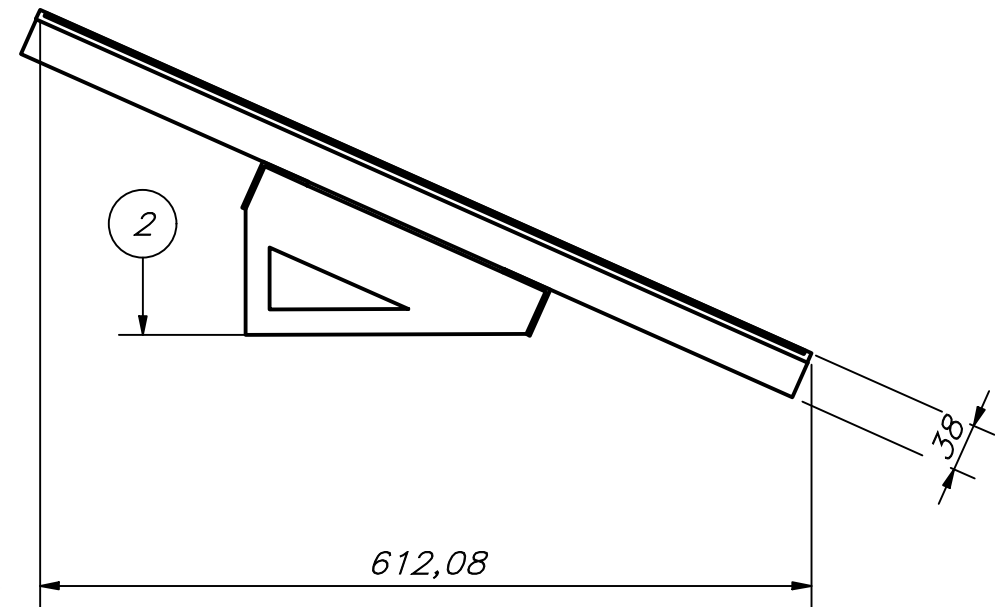
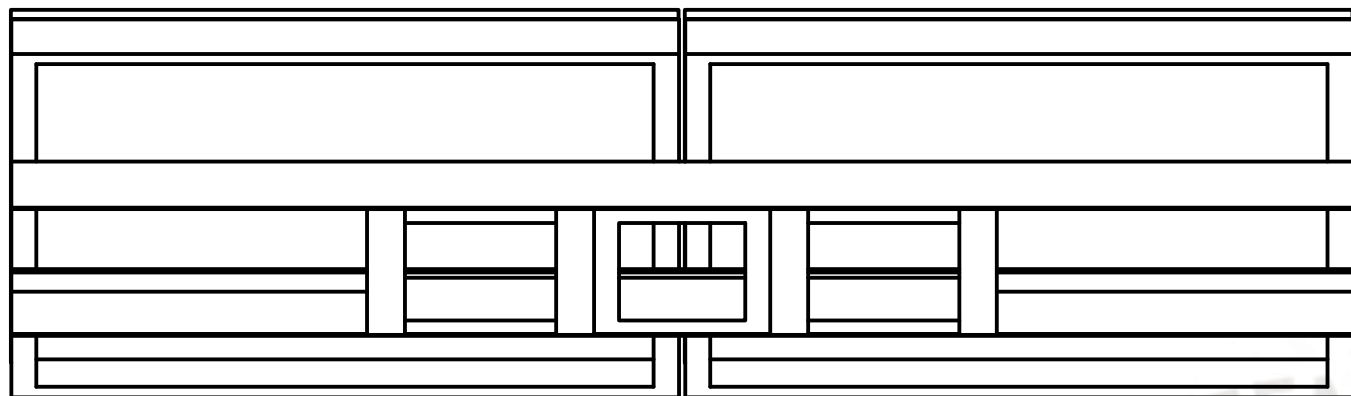
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
----------	---------------------------	----------------------

		LÁMINA: A3
--	--	---------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

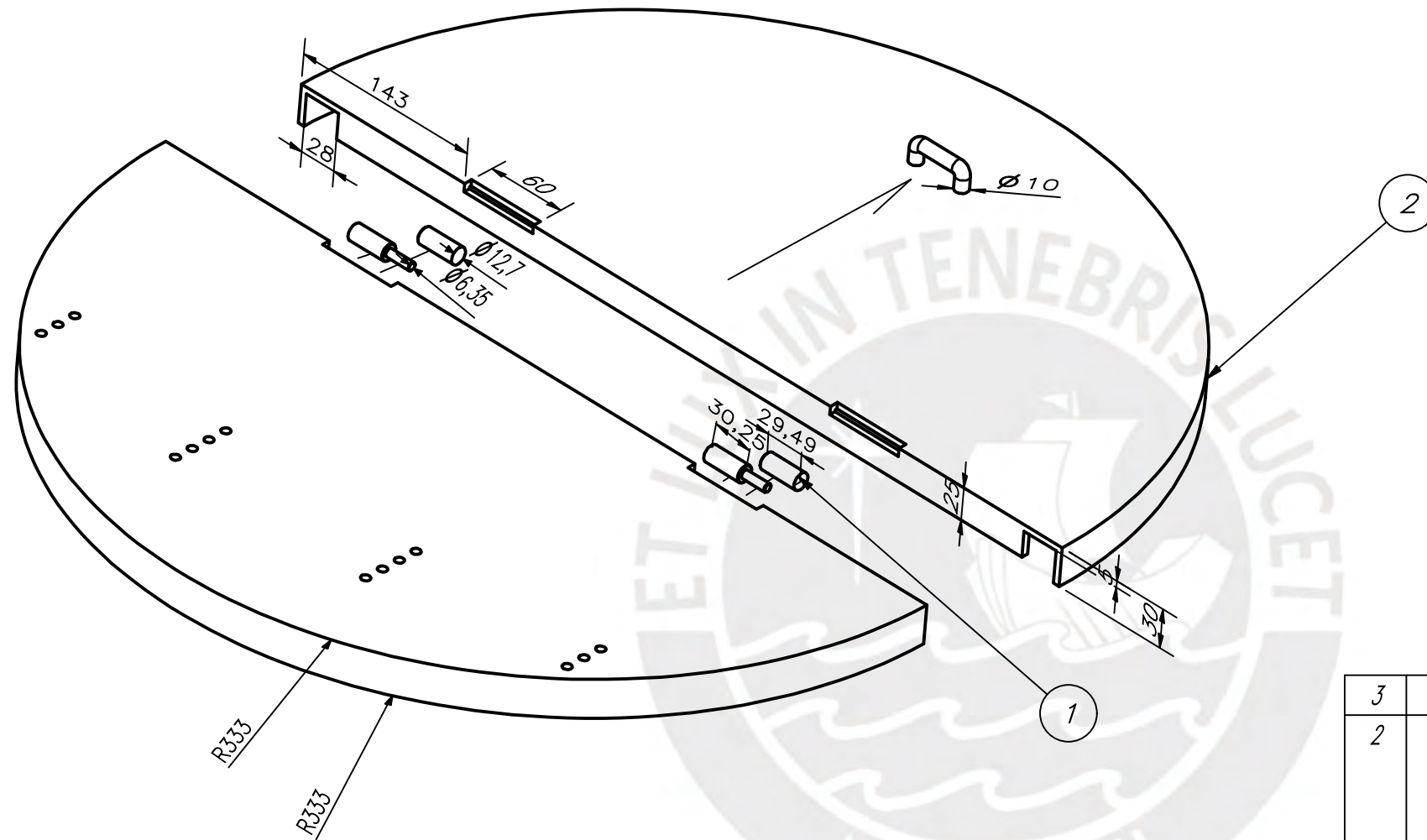
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



LISTA DE PARTES			
2	1	Soporte panel solar	HDPE
1	1	Panel solar	Generico
ACABADO SUPERFICIAL		TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
3,2/√		DIN 7168 GRADO MEDIO	HDPE, GENÉRICO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PL-M04		ESCALA
	PANEL SOLAR Y SOPORTE		1:6
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAUL		FECHA: 2023.06.23
			LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



3	1	Manija o jalador	HDPE	Producto comercial
2	2	Media tapa	HDPE- Generico	Uno para abrir la tolva y otro para soportar al panel solar
1	2	Bisagra	ACERO	Producto comercial
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	COMENTARIOS

LISTA DE COMPONENTES

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
----------------------------------	---	------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ING. MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL M05	ESCALA 1:4
--------------------------	--------	---------------

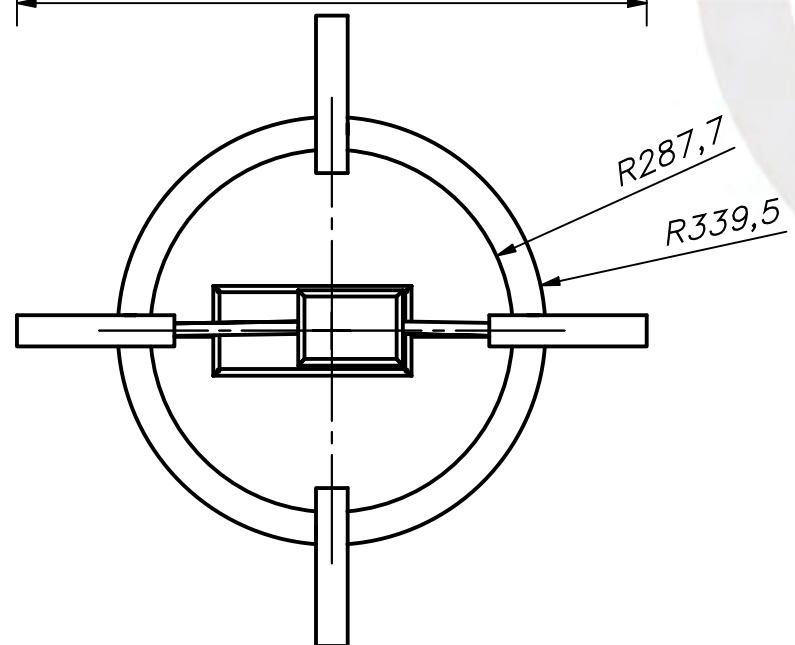
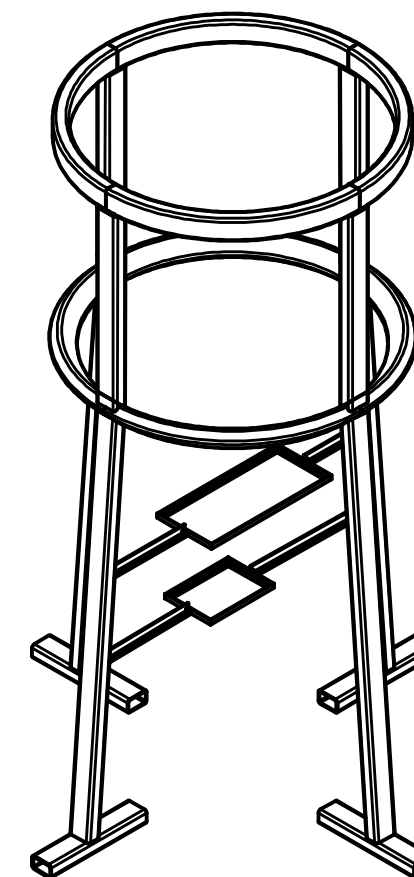
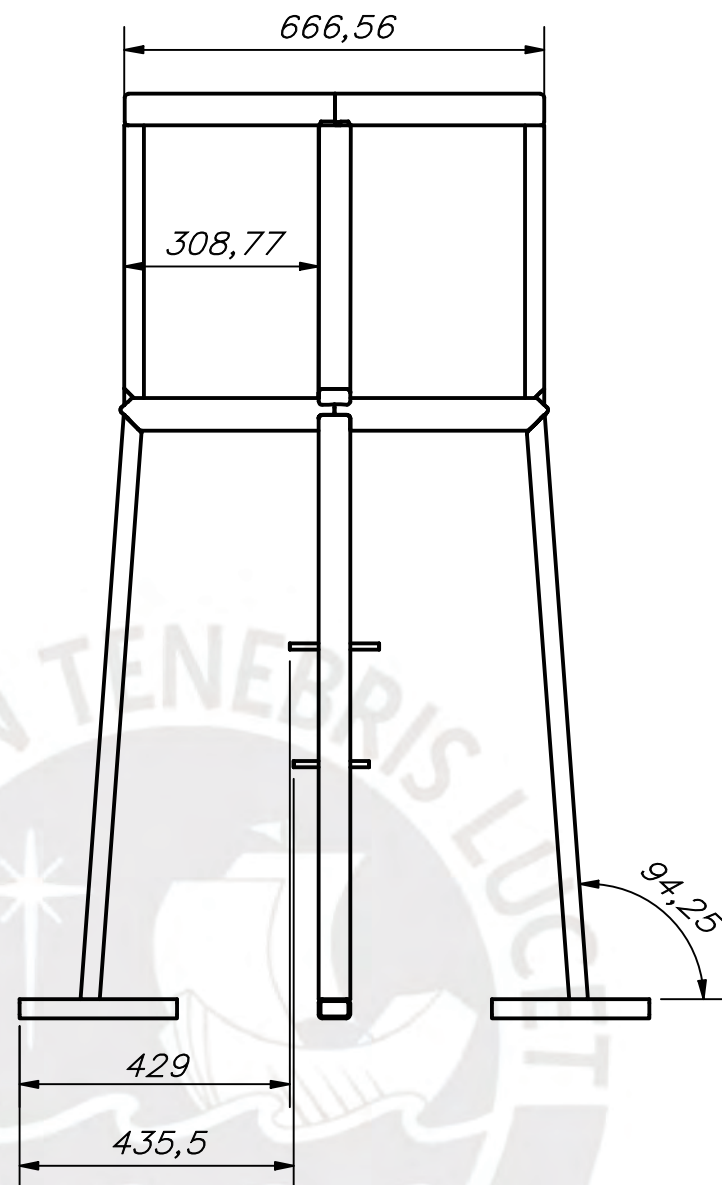
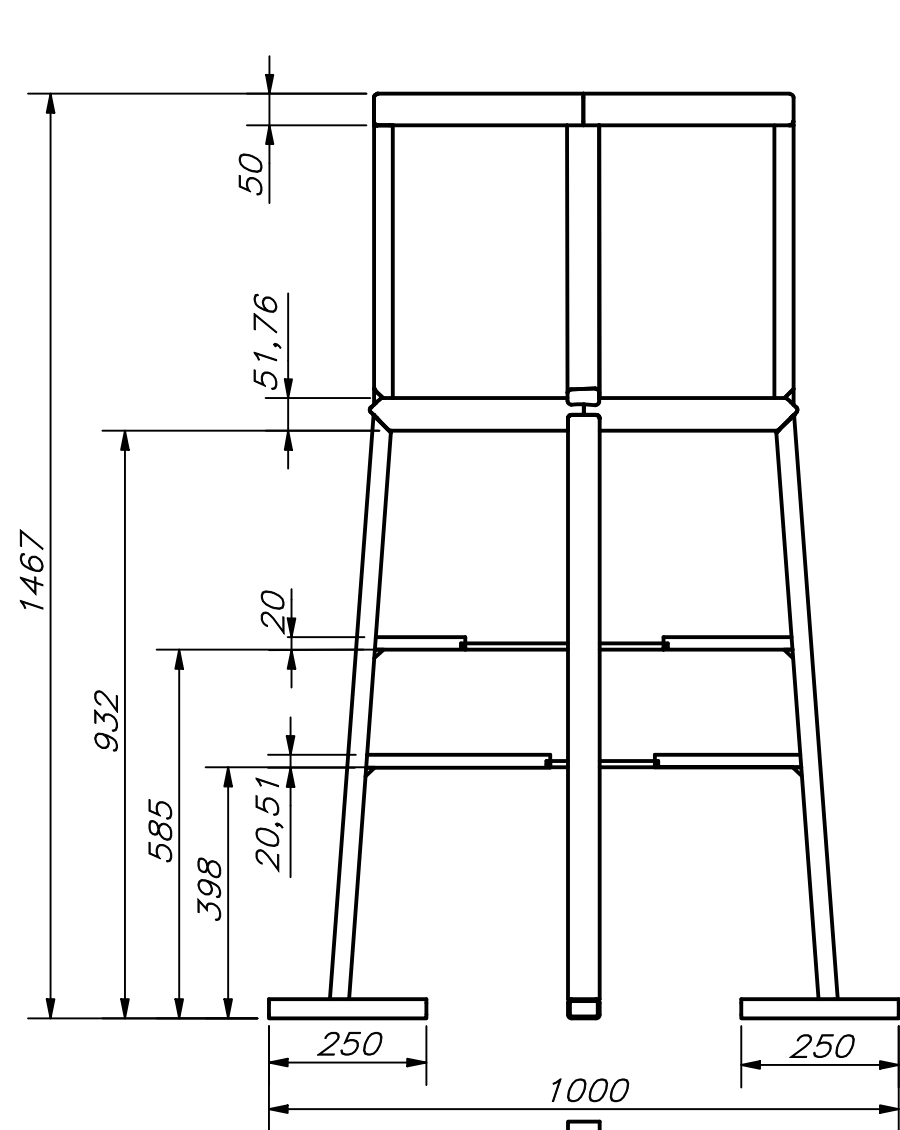
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
----------	---------------------------	----------------------

		LÁMINA: A3
--	--	---------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



Medidas en mm

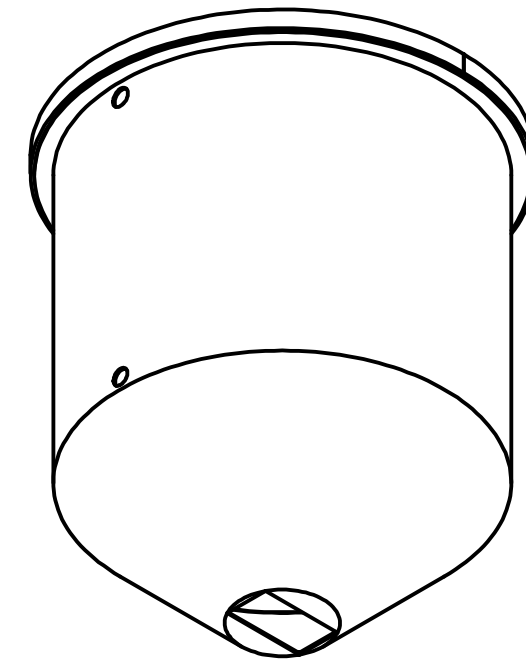
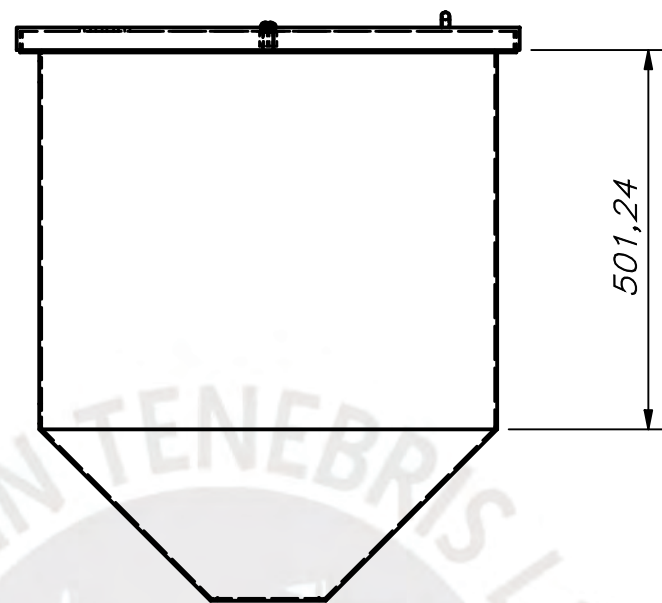
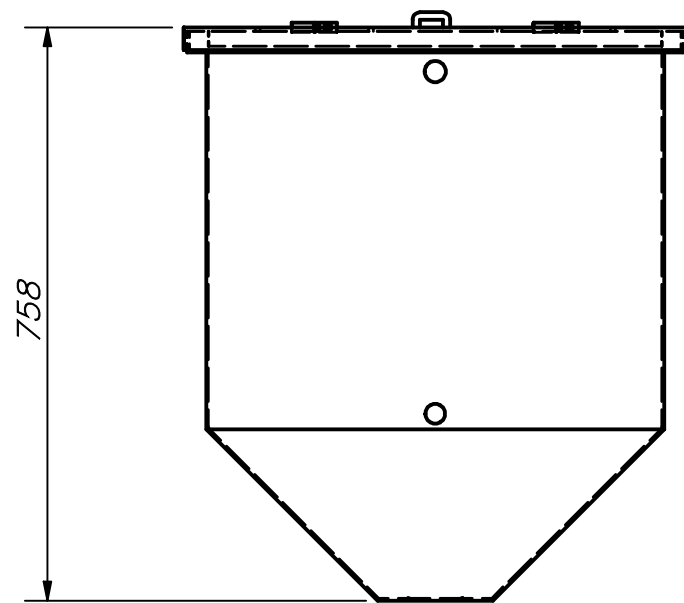
Todas las uniones entre perfiles son soldadas, todas las uniones con componentes son por presión o uniones con pernos.

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL ACERO GALVANIZADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PL M06	ESCALA
	SOPORTE METÁLICO GENERAL	1:12
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAUL	FECHA: 2025.09
		LÁMINA: A3

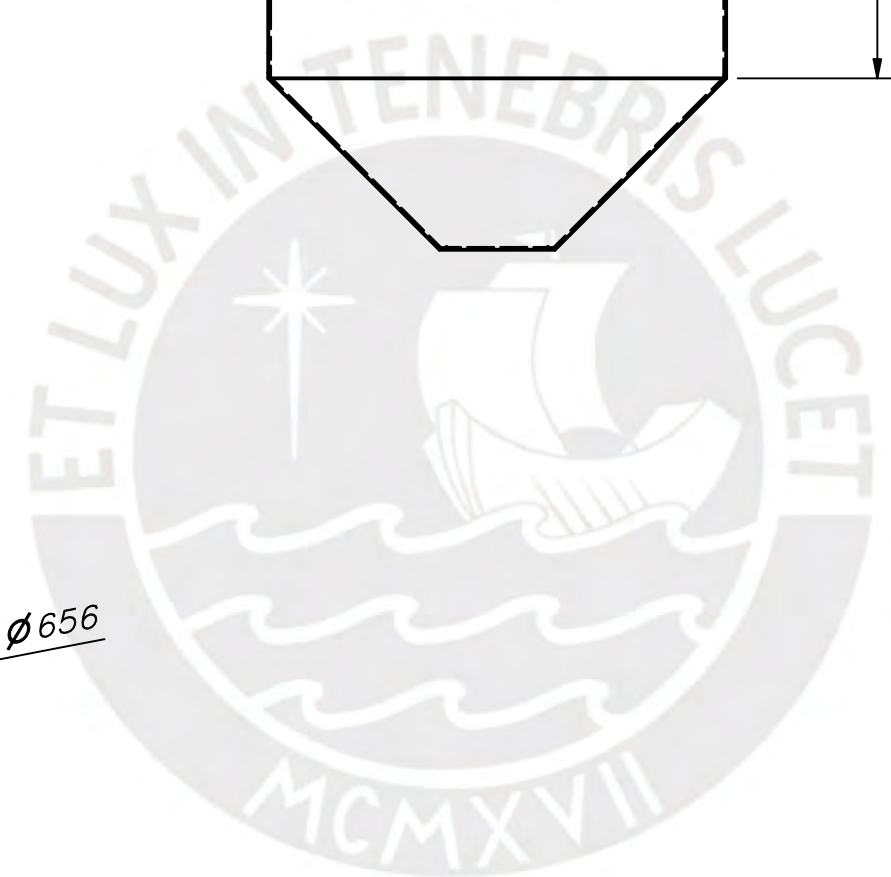
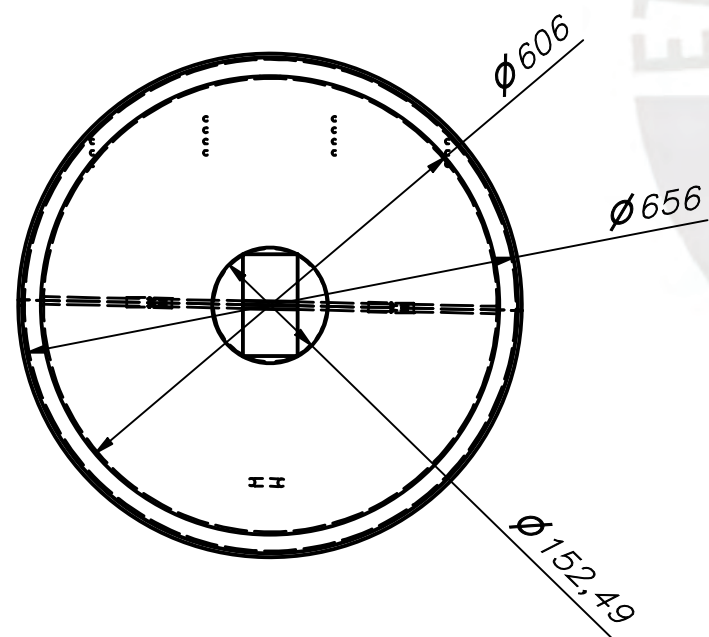
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



VISTA ISOMÉTRICA
Medidas en mm

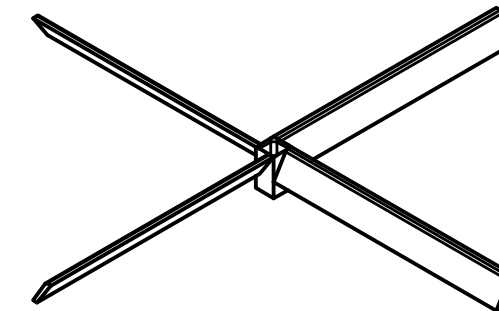
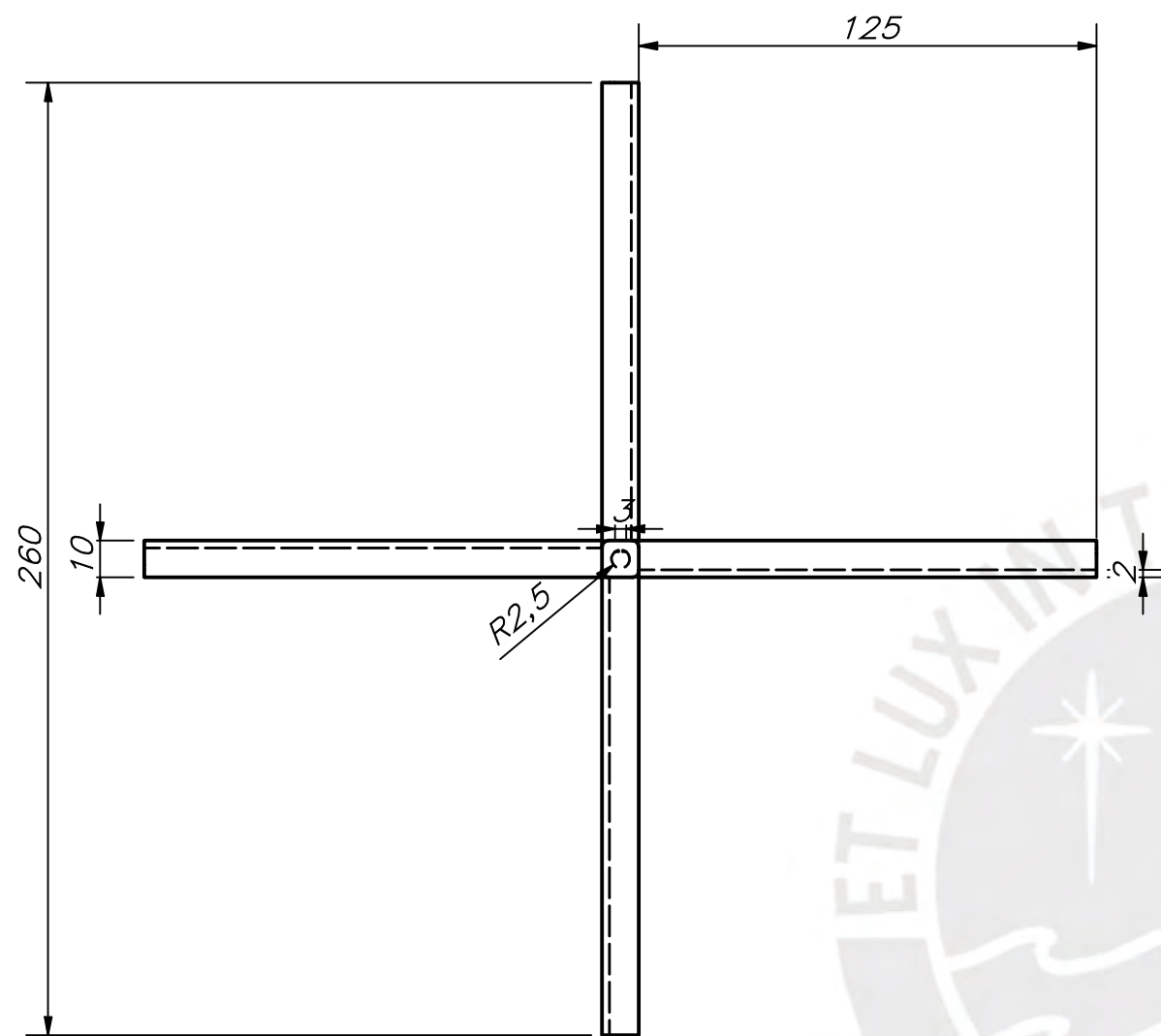


ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M07	ESCALA 1:10
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2025.09
		LÁMINA: A3

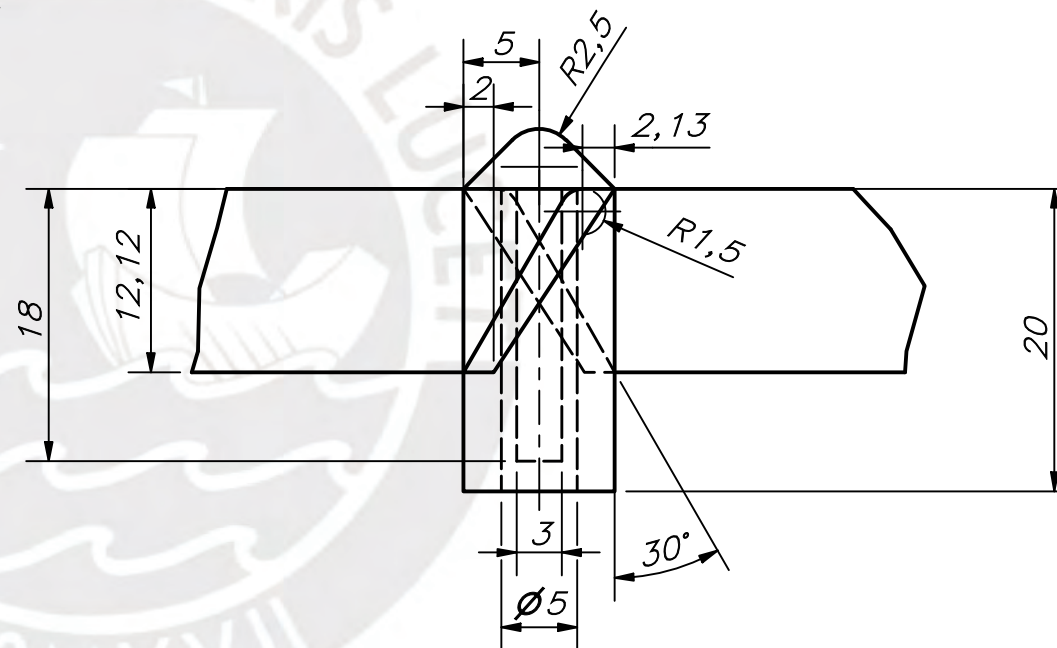
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

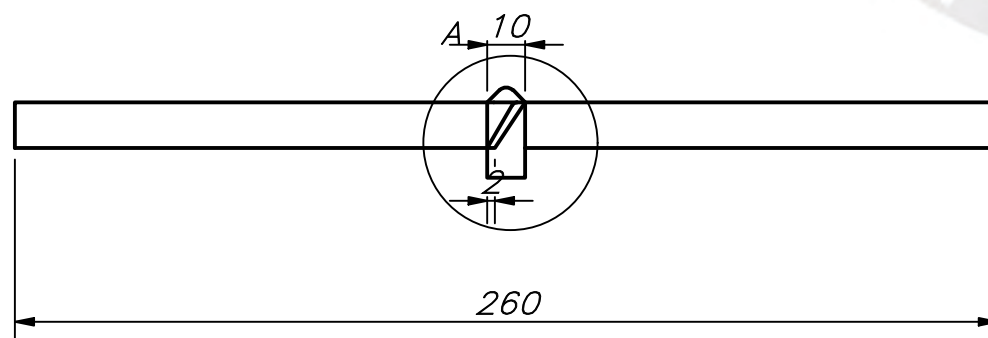


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:3



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

Medidas en mm

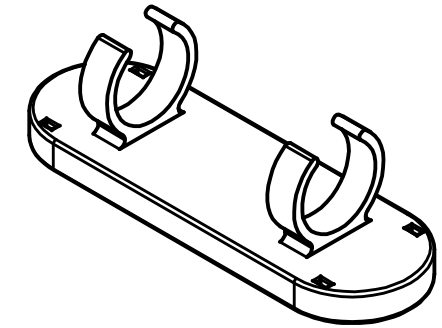
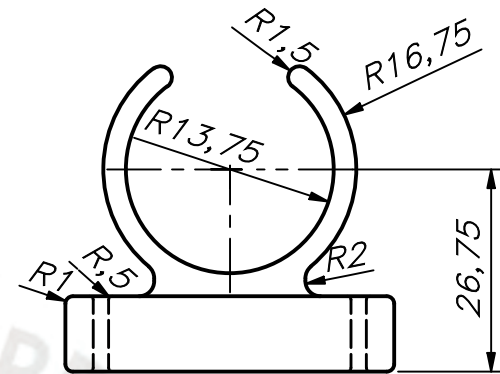
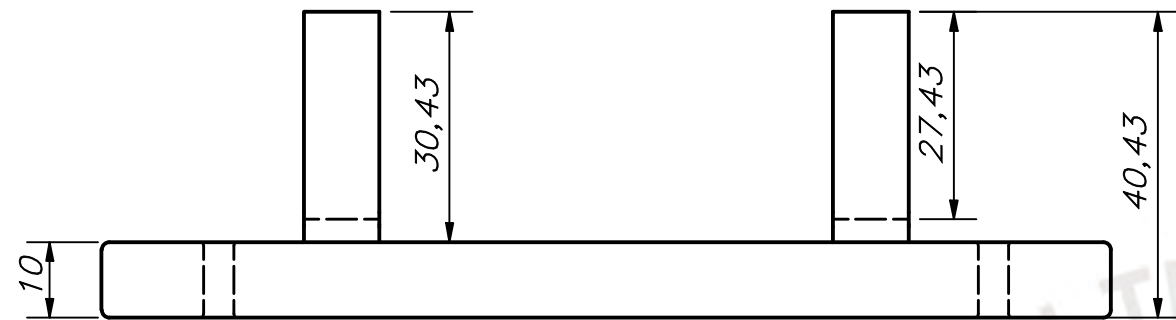


ACABADO SUPERFICIAL 3,2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL ACERO GALVANIZADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M08 PALETAS DEL DISTRIBUIDOR	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
		LÁMINA: A4

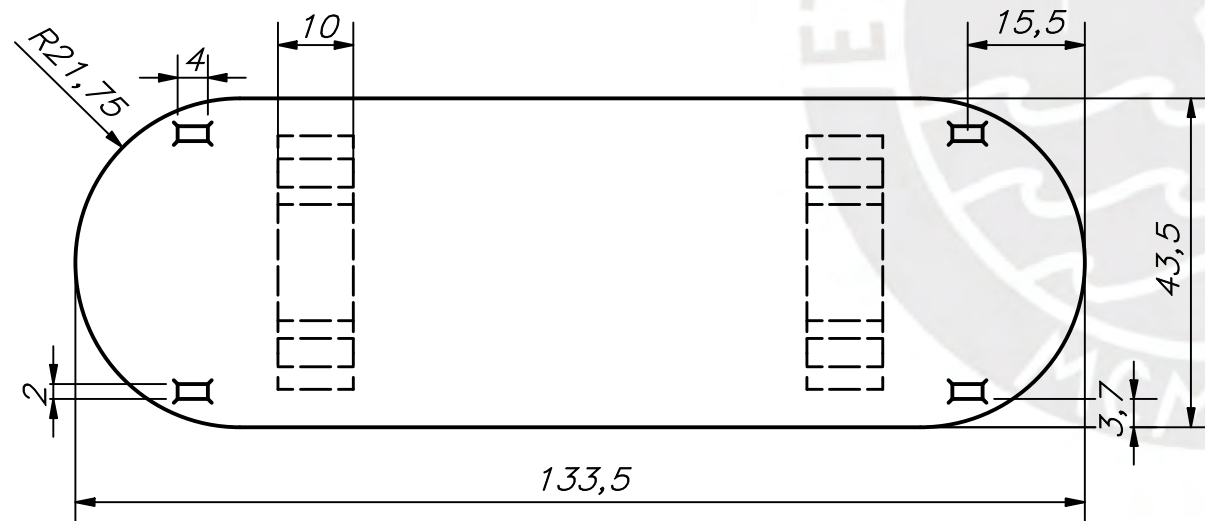
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2



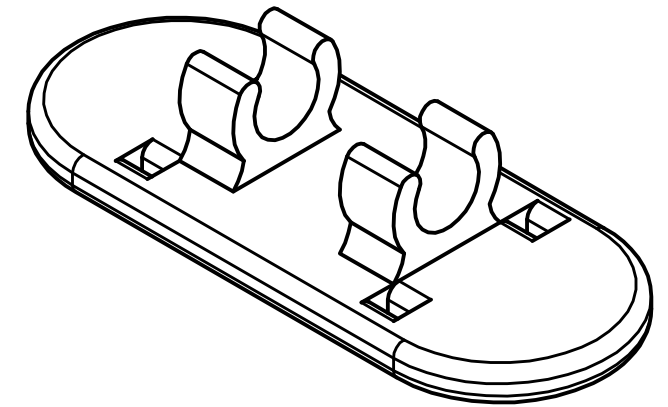
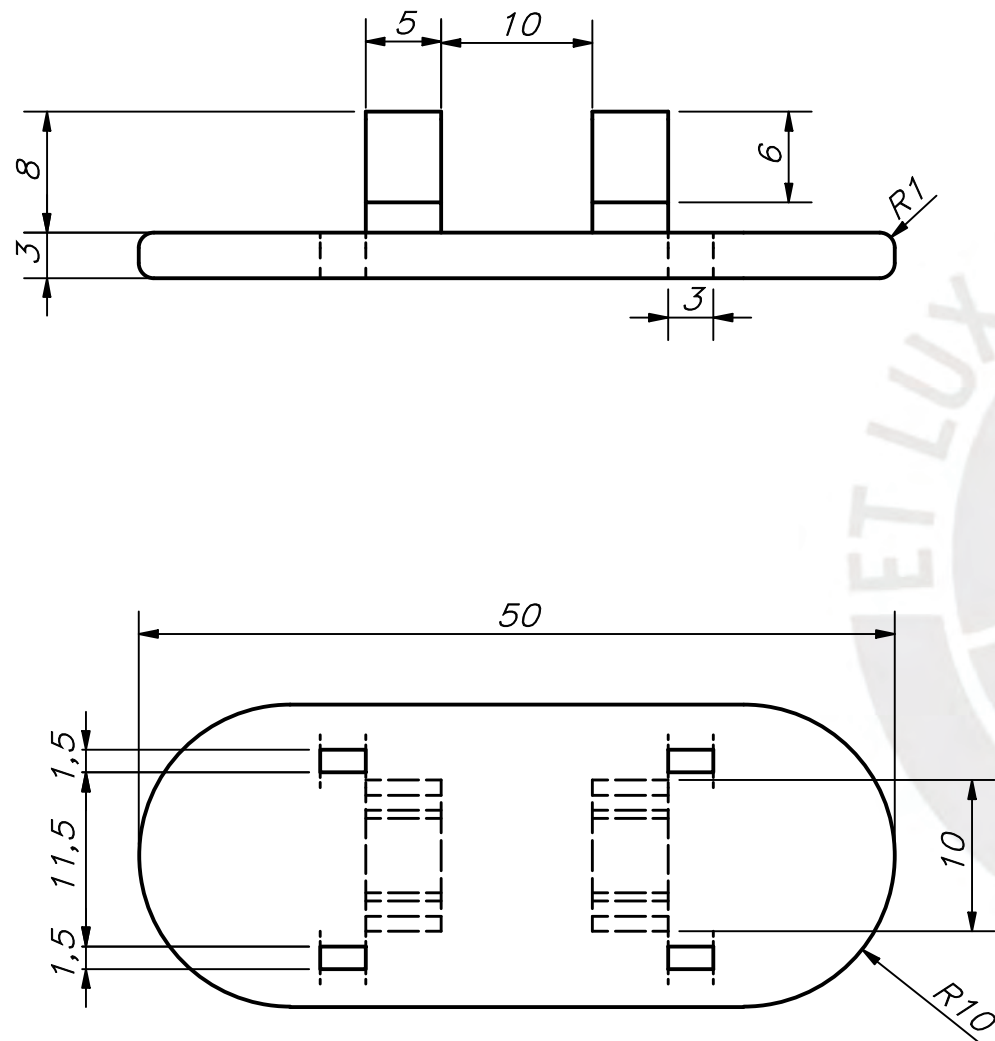
Medidas en mm

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL ACERO GALVANIZADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M09 SOPORTE PARA SONDAS DE OD Y PH	ESCALA 1:1
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



Vista isométrica
Escala 2:1

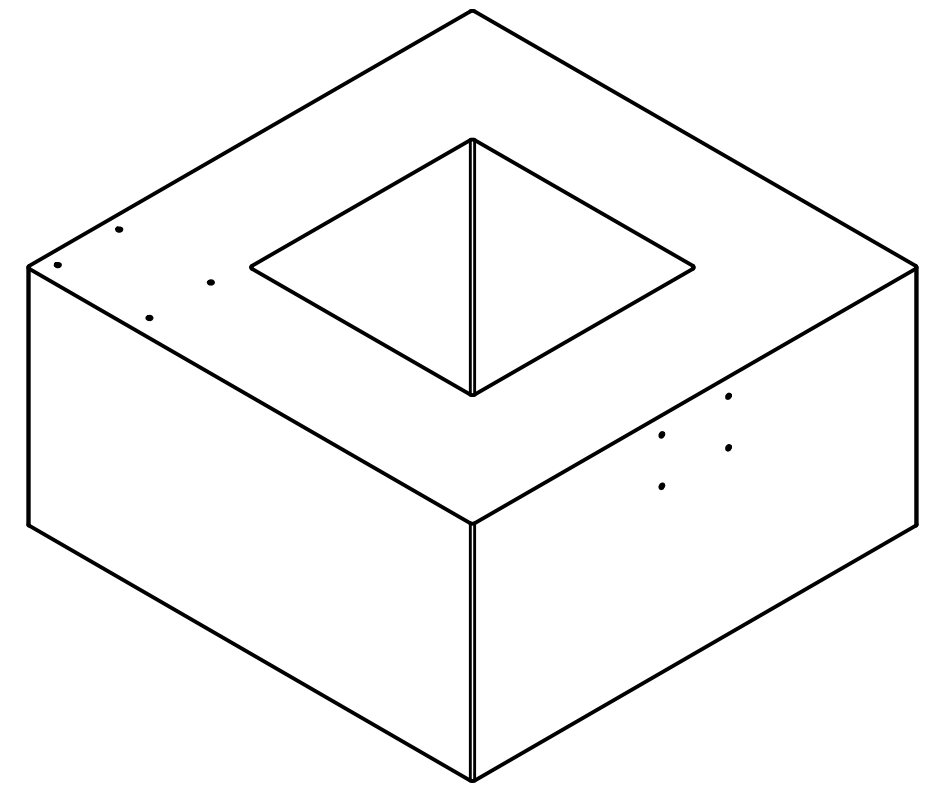
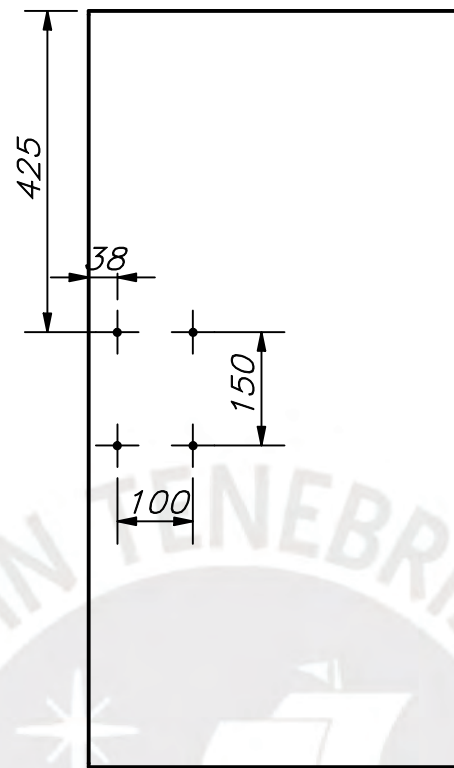
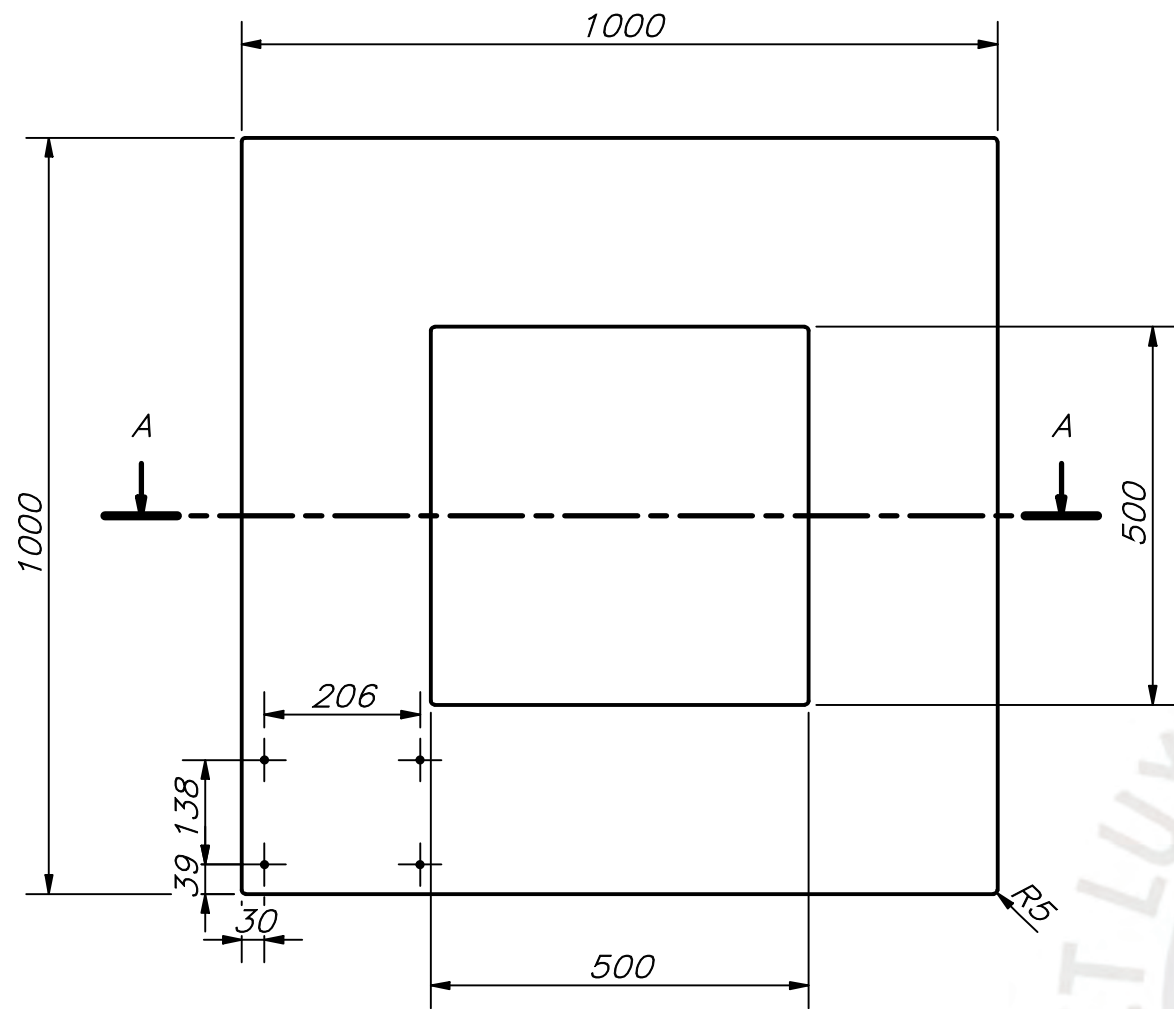
Medidas en mm

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL ACERO GALVANIZADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	PL M15 SOPORTE DE SONDA TEMP	ESCALA 2:1
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
		LÁMINA: A3

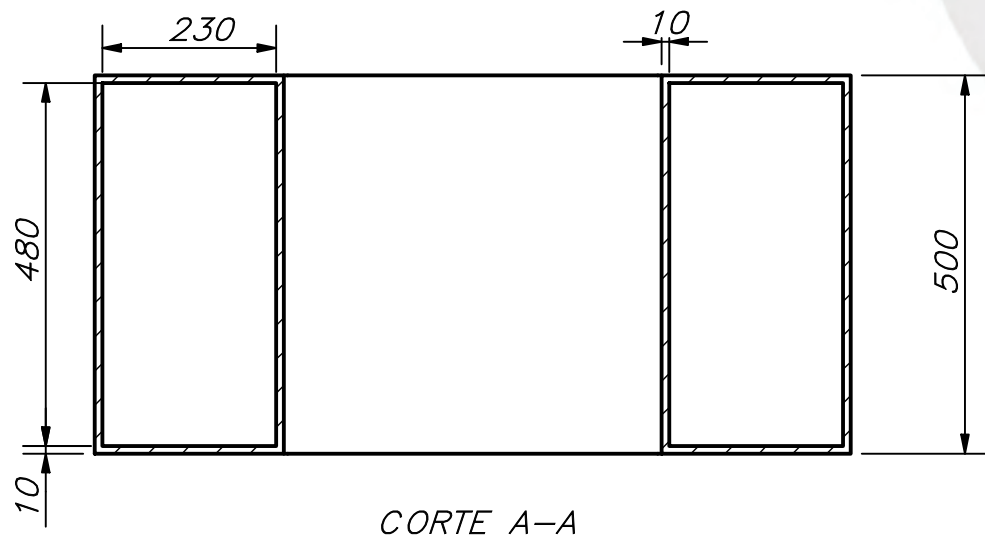
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:12



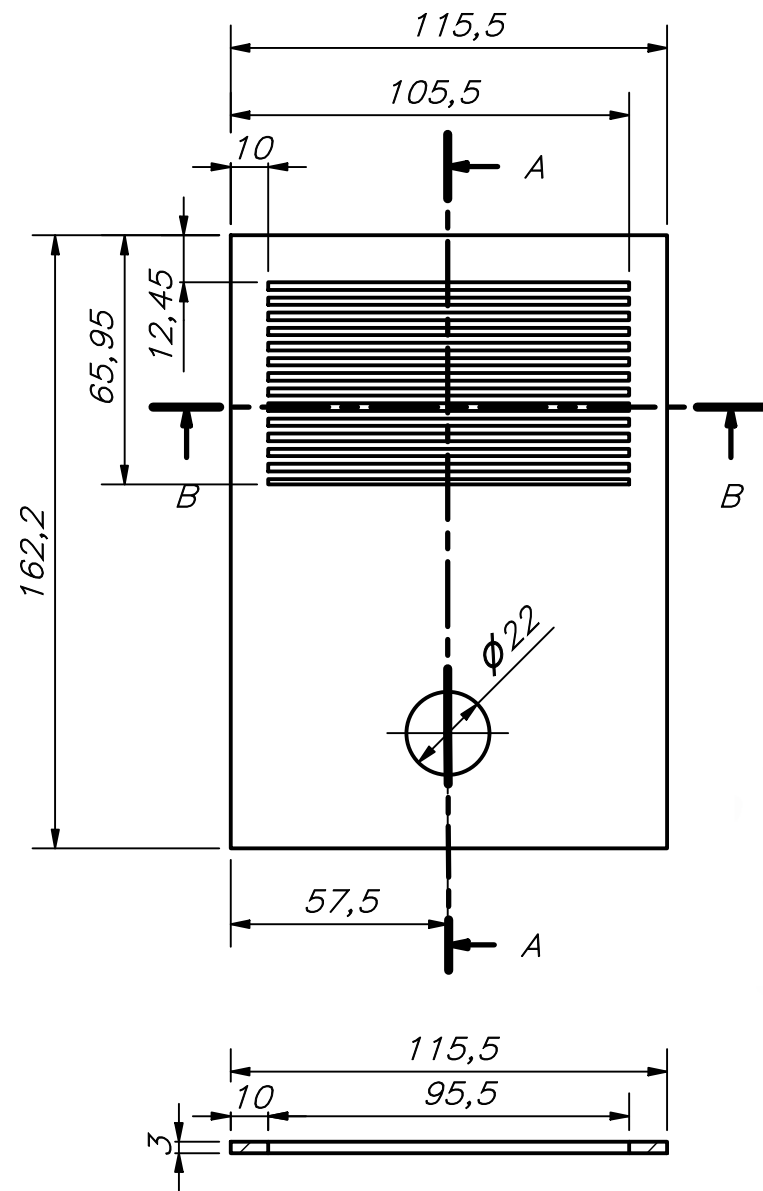
Redondeos no indicados: R5
Medidas en mm

ACABADO SUPERFICIAL 3,2 √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ▭	PL M11	ESCALA 1:10
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
		LÁMINA: A4

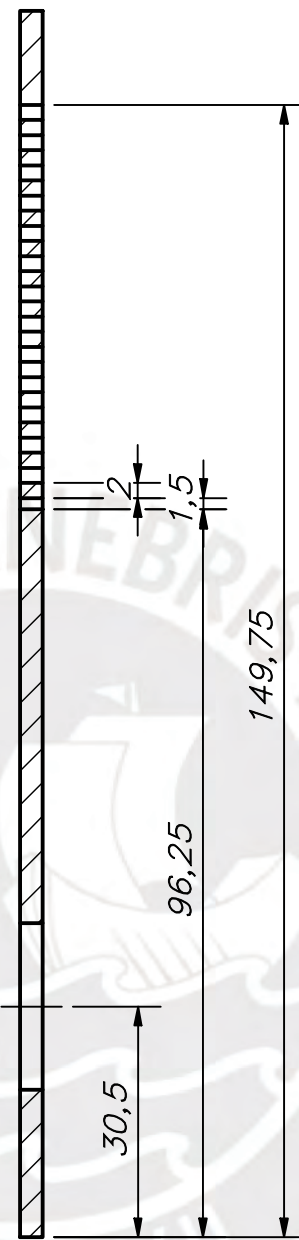
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

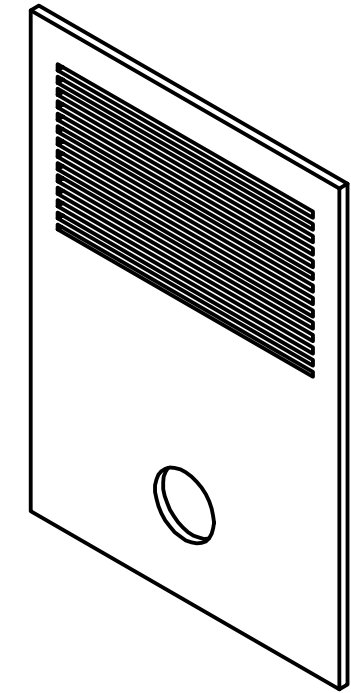
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



CORTE B-B



CORTE A-A
ESCALA 1:1



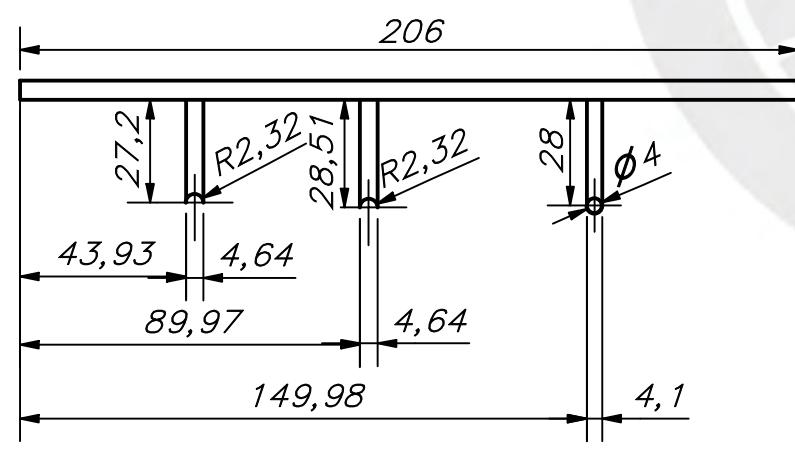
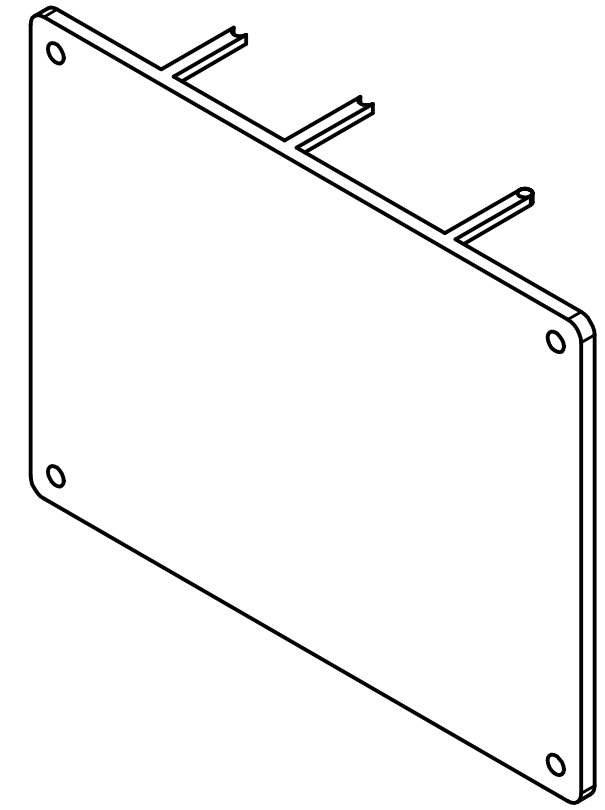
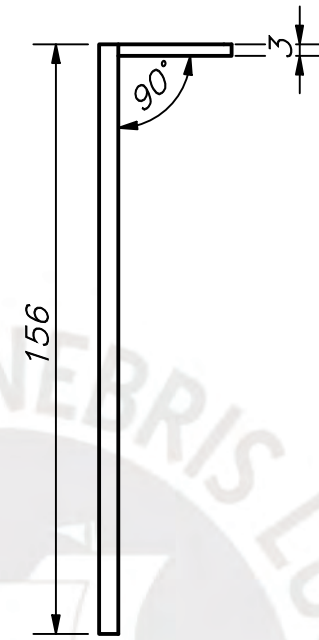
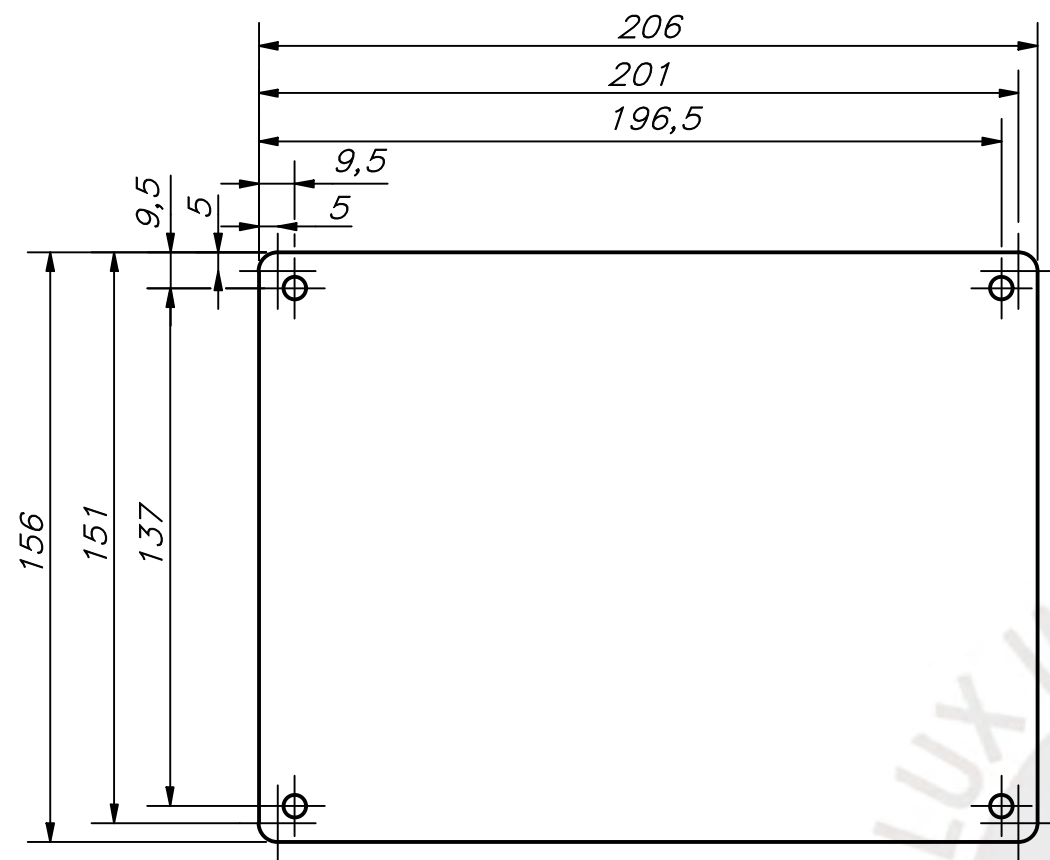
Medidas en mm

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	PL-M12	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA:
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

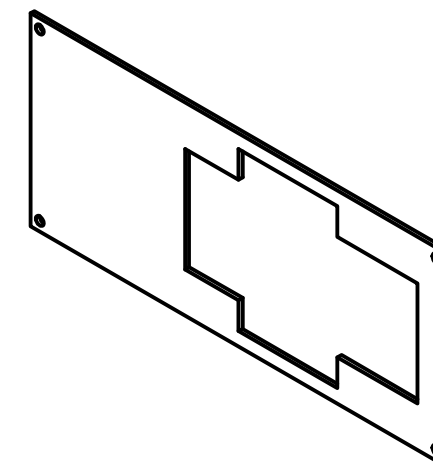
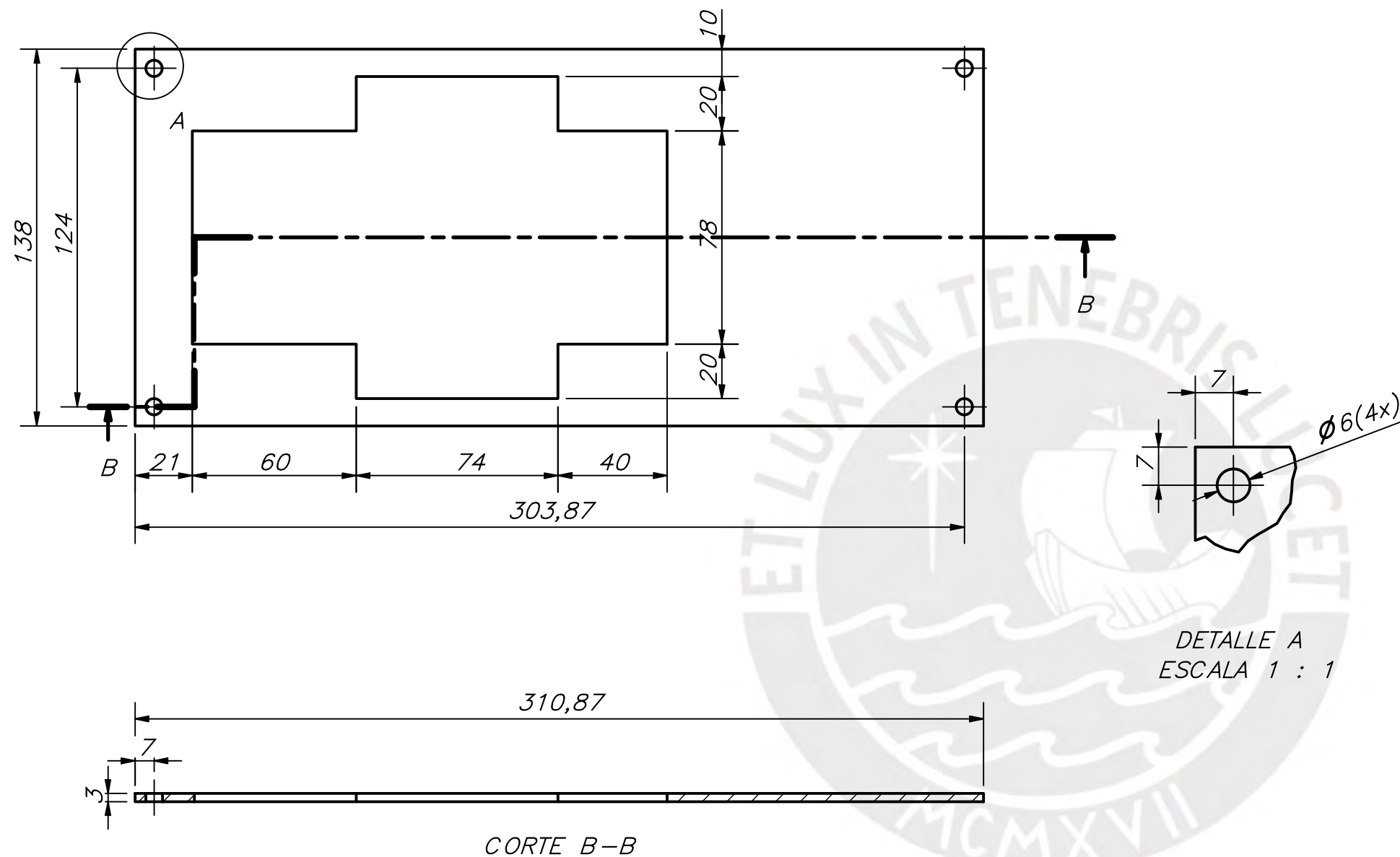


Medidas en mm

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	PL-M13	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA:
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:4

DETALLE A
ESCALA 1 : 1

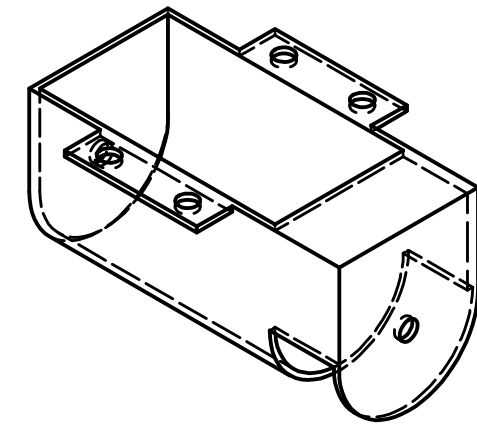
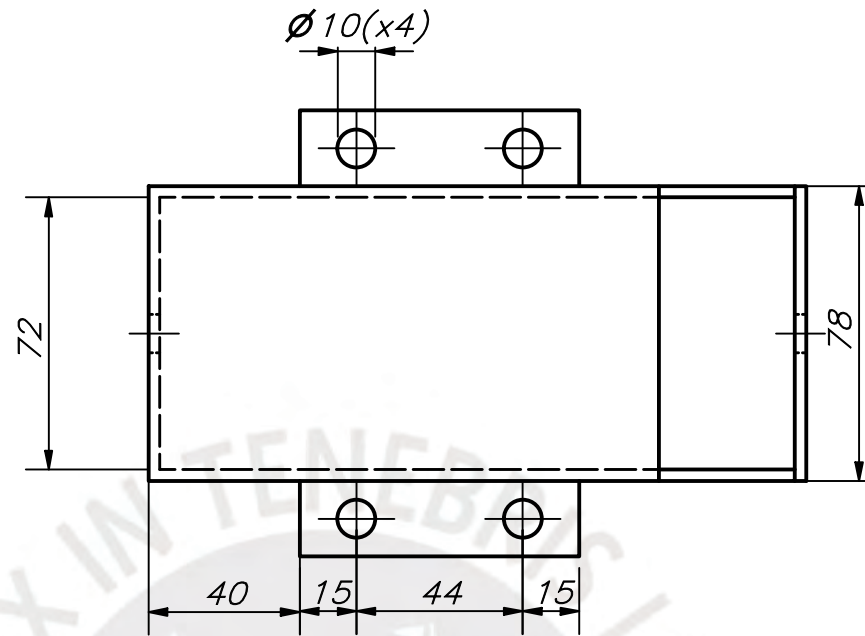
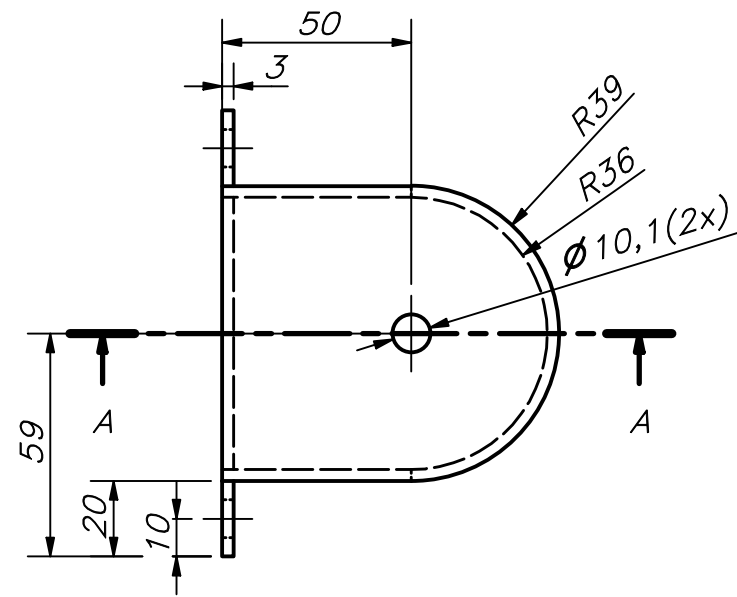
CORTE B-B

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M14	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
		LÁMINA: A3

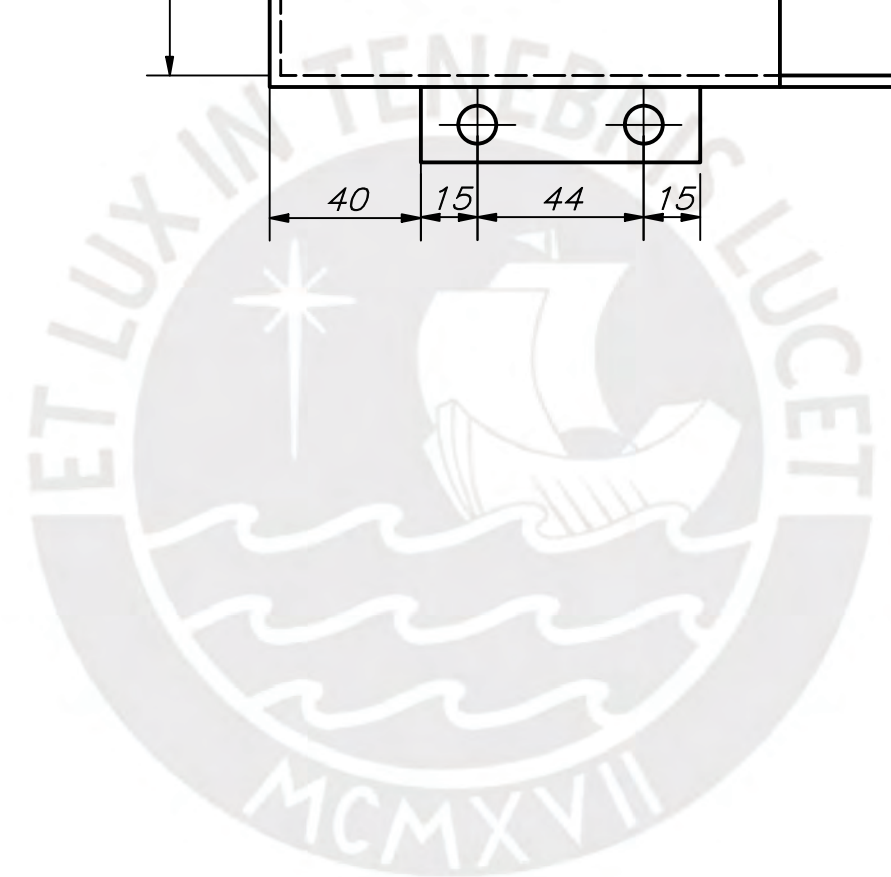
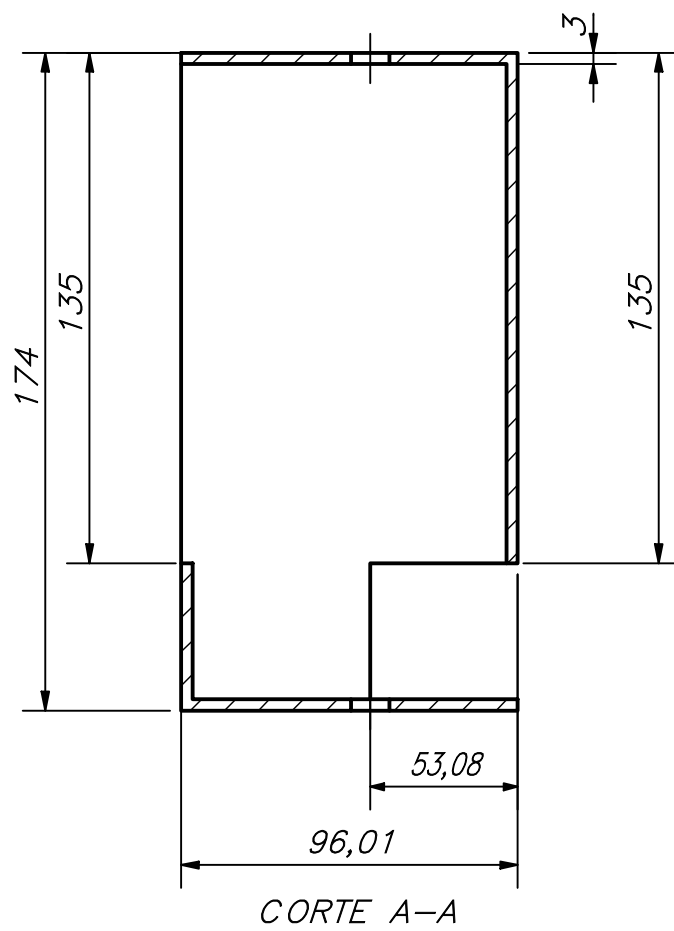
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:3



ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL ACERO GALVANIZADO
----------------------------------	---	-------------------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ING. MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M15 SOPORTE TORNILLO SINFÍN	ESCALA 1:2
--------------------------	--	---------------

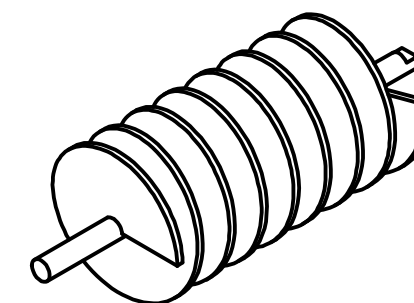
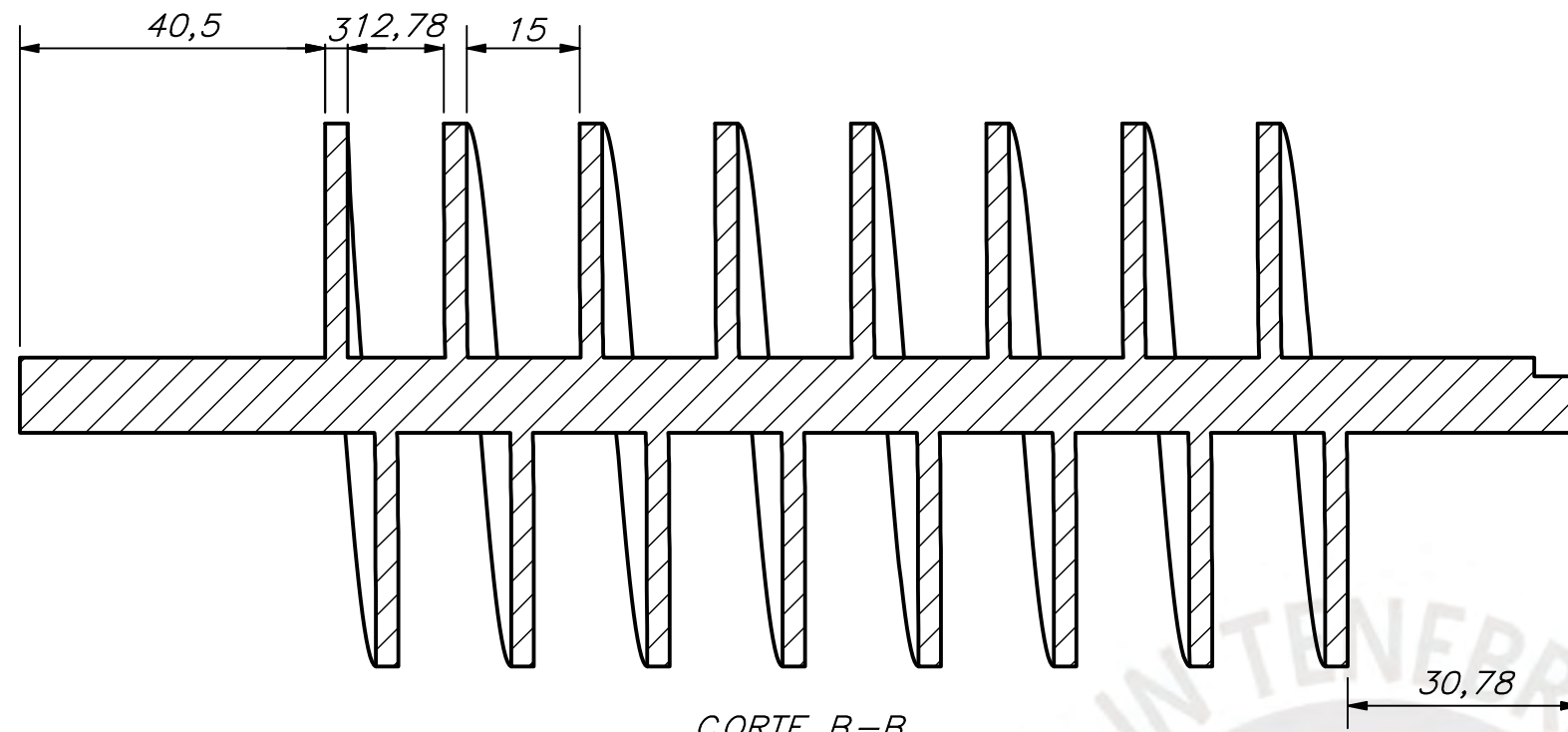
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
----------	---------------------------	----------------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

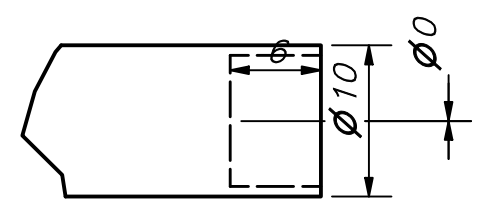
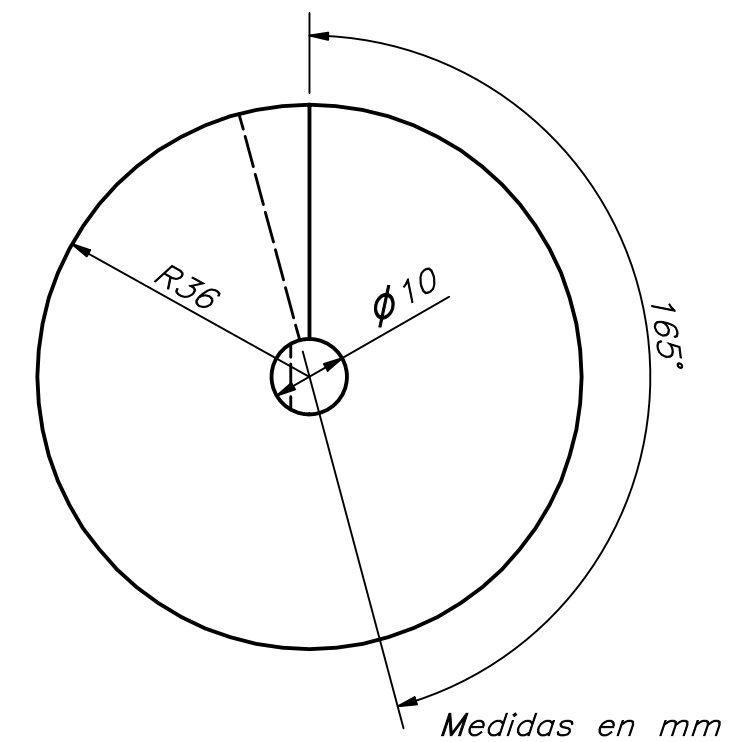
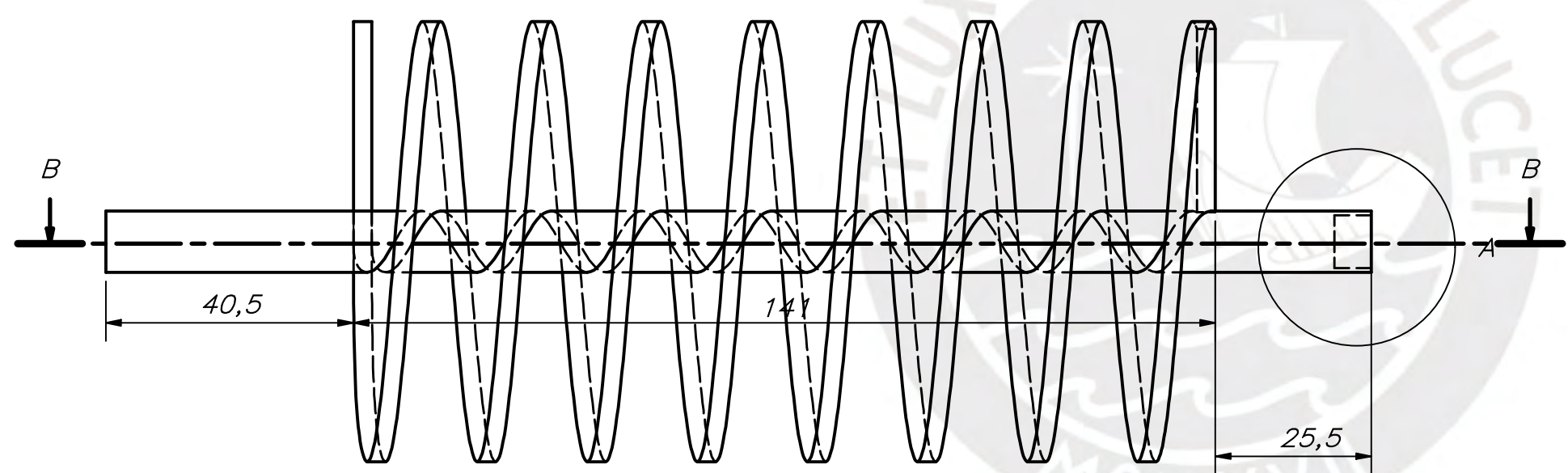
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

LÁMINA:
A3



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:3



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL ACERO GALVANIZADO
----------------------------------	---	-------------------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ING. MECATRÓNICO

MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	PL-M16 TORNILLO SINFIN DOSIFICADOR	ESCALA 1:1
-----------------------------	--	---------------

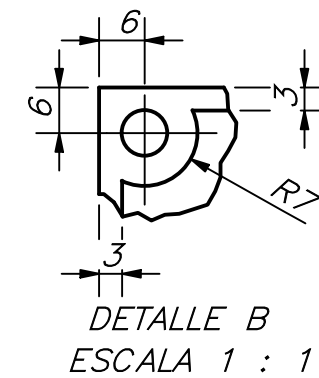
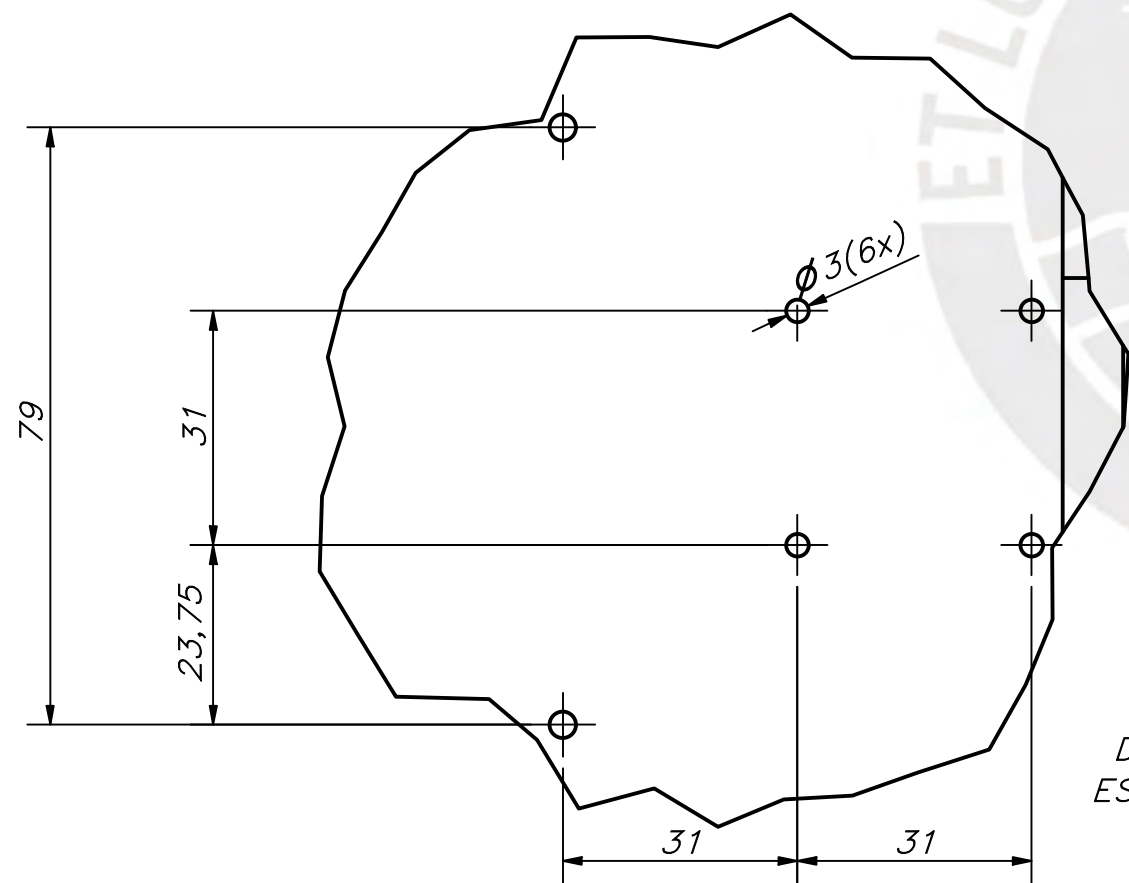
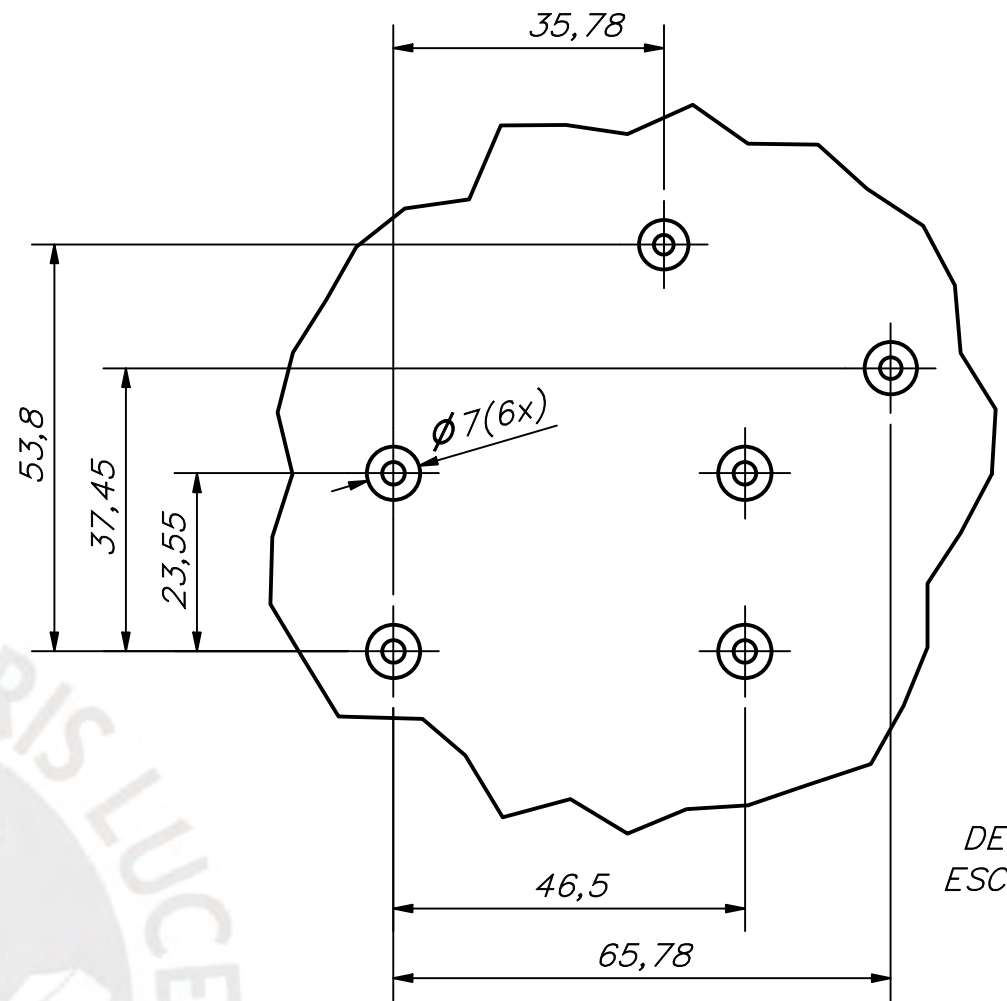
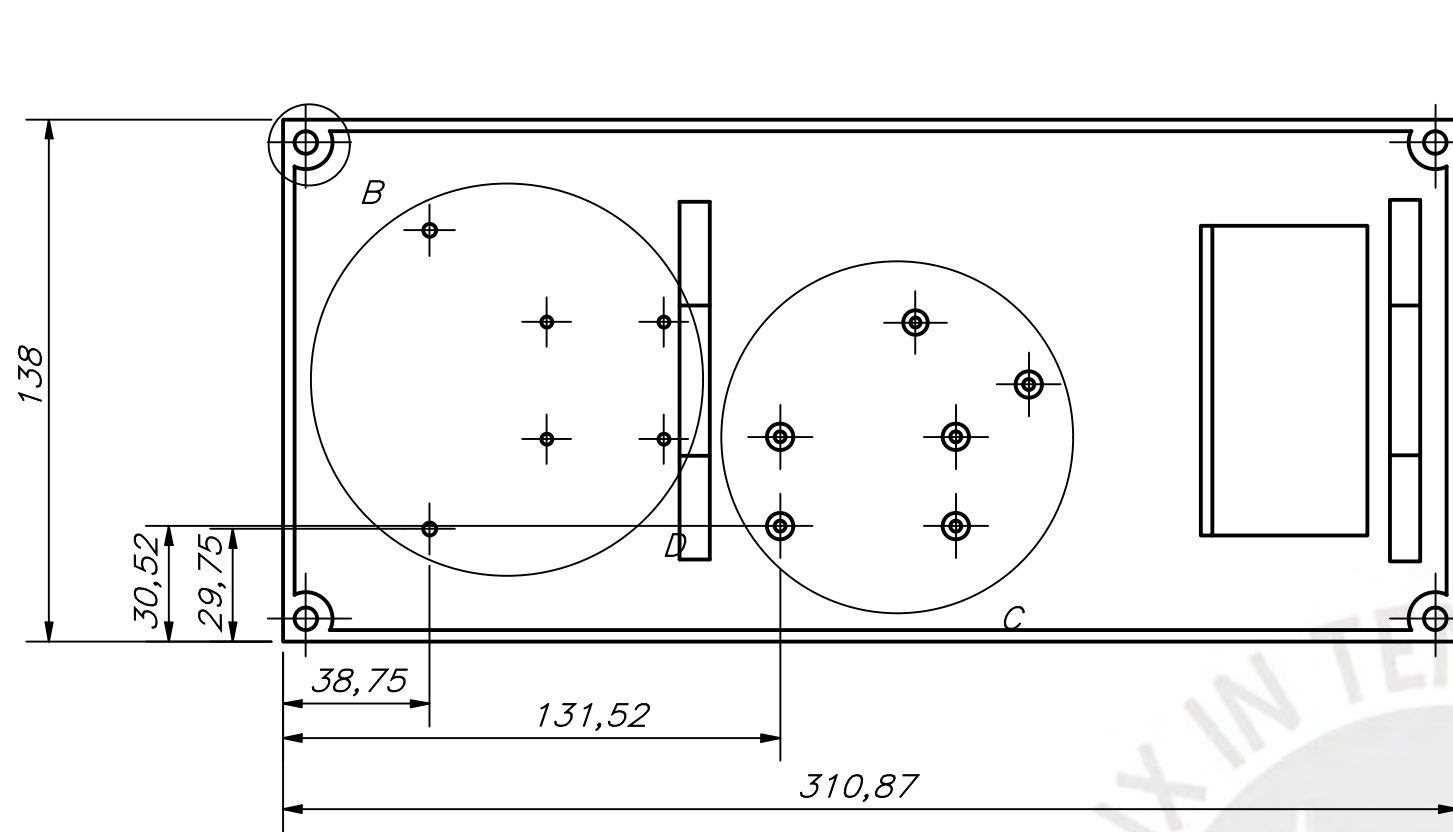
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
----------	---------------------------	----------------------

		LÁMINA: A4
--	--	---------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

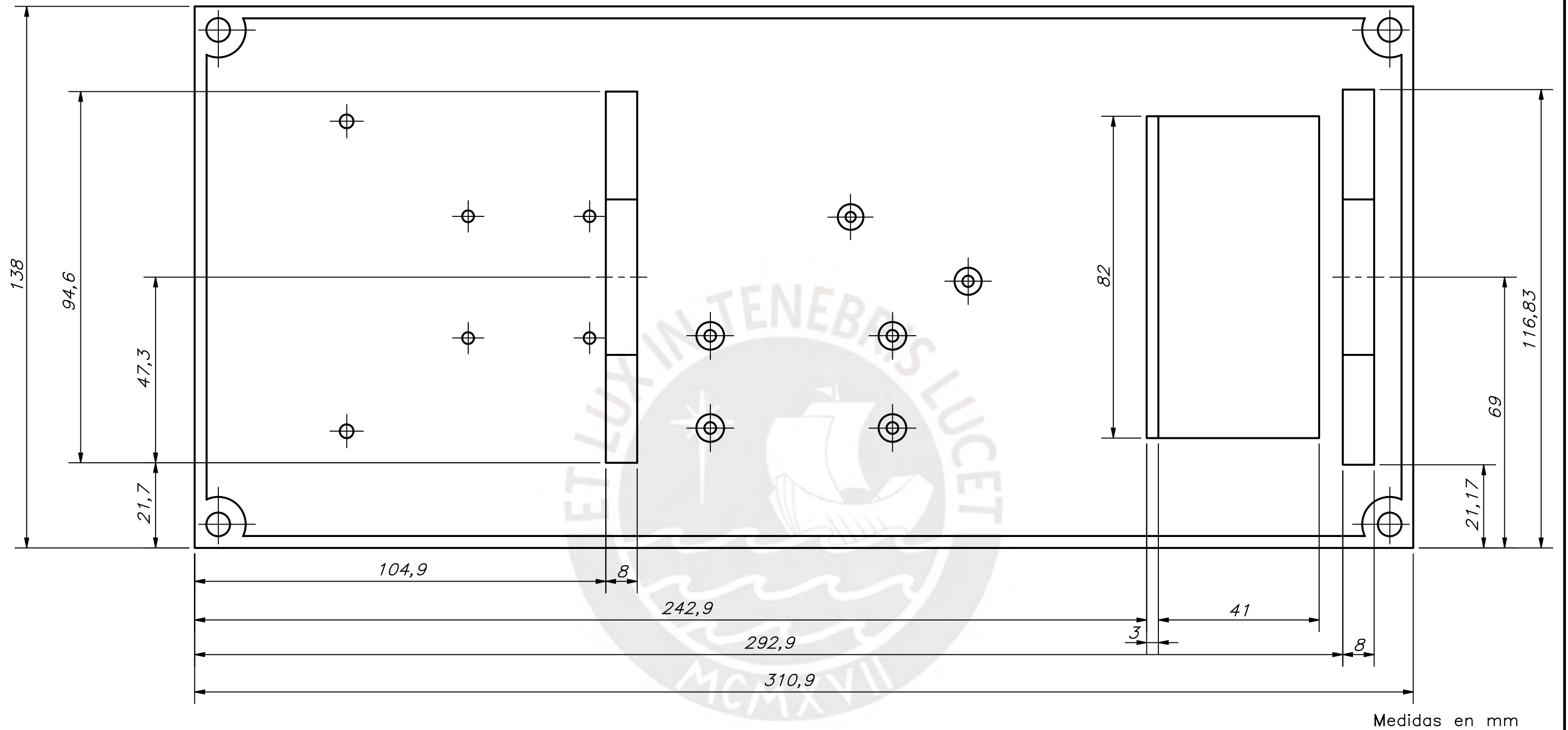


ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ — ▭	PL-M17a	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.24
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

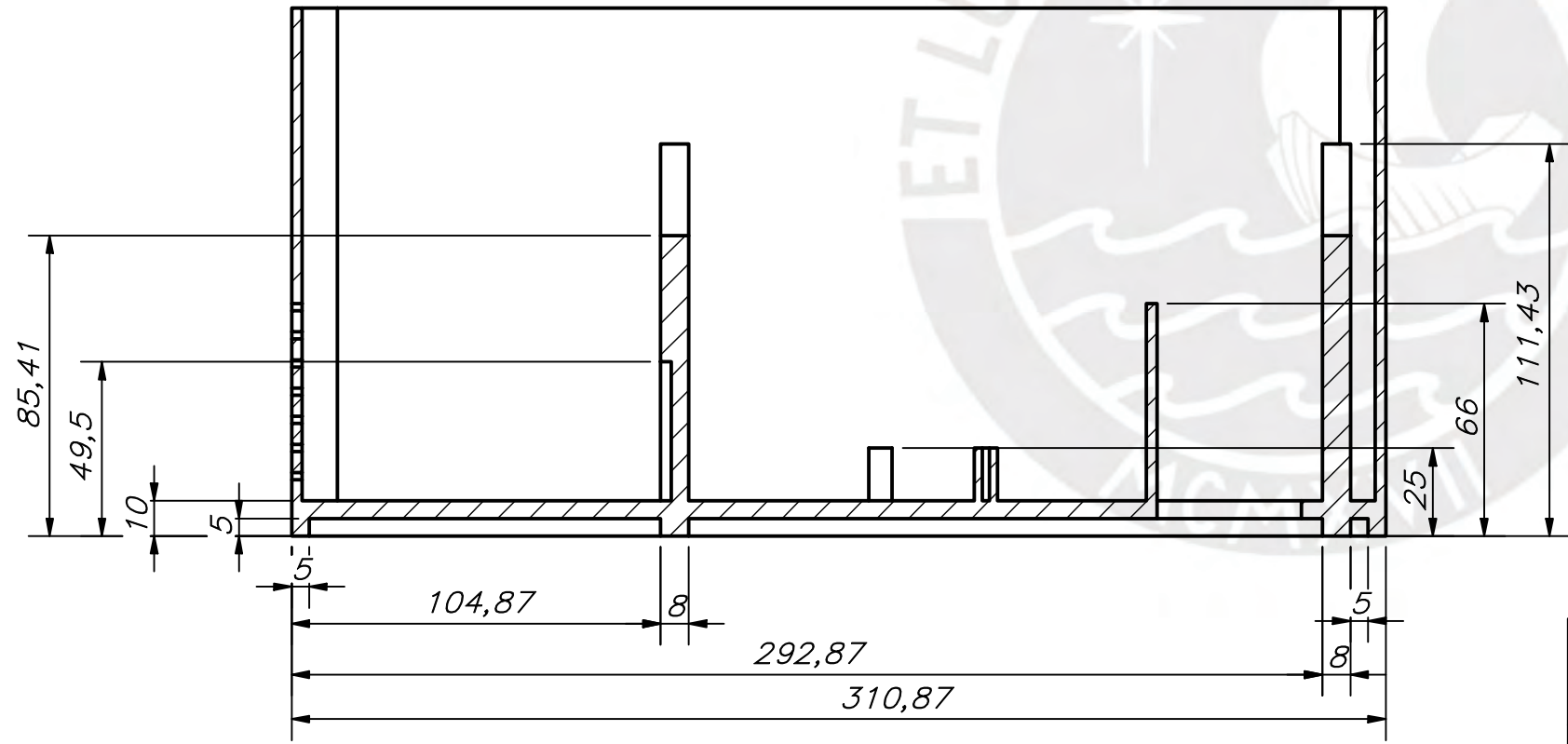
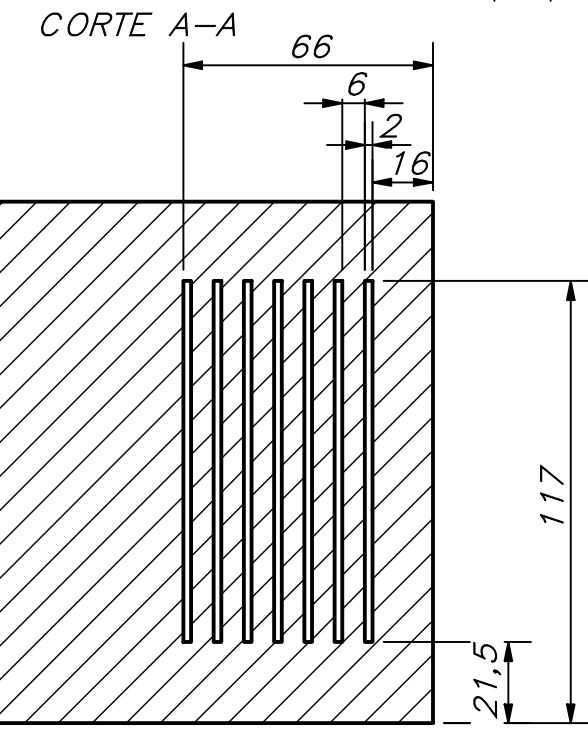
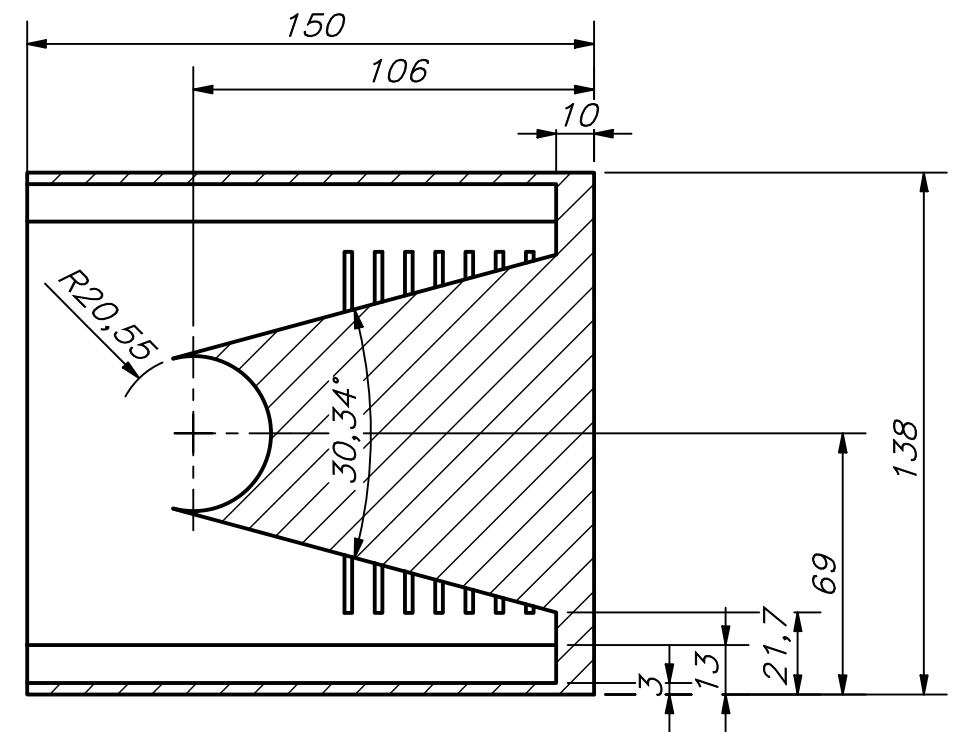
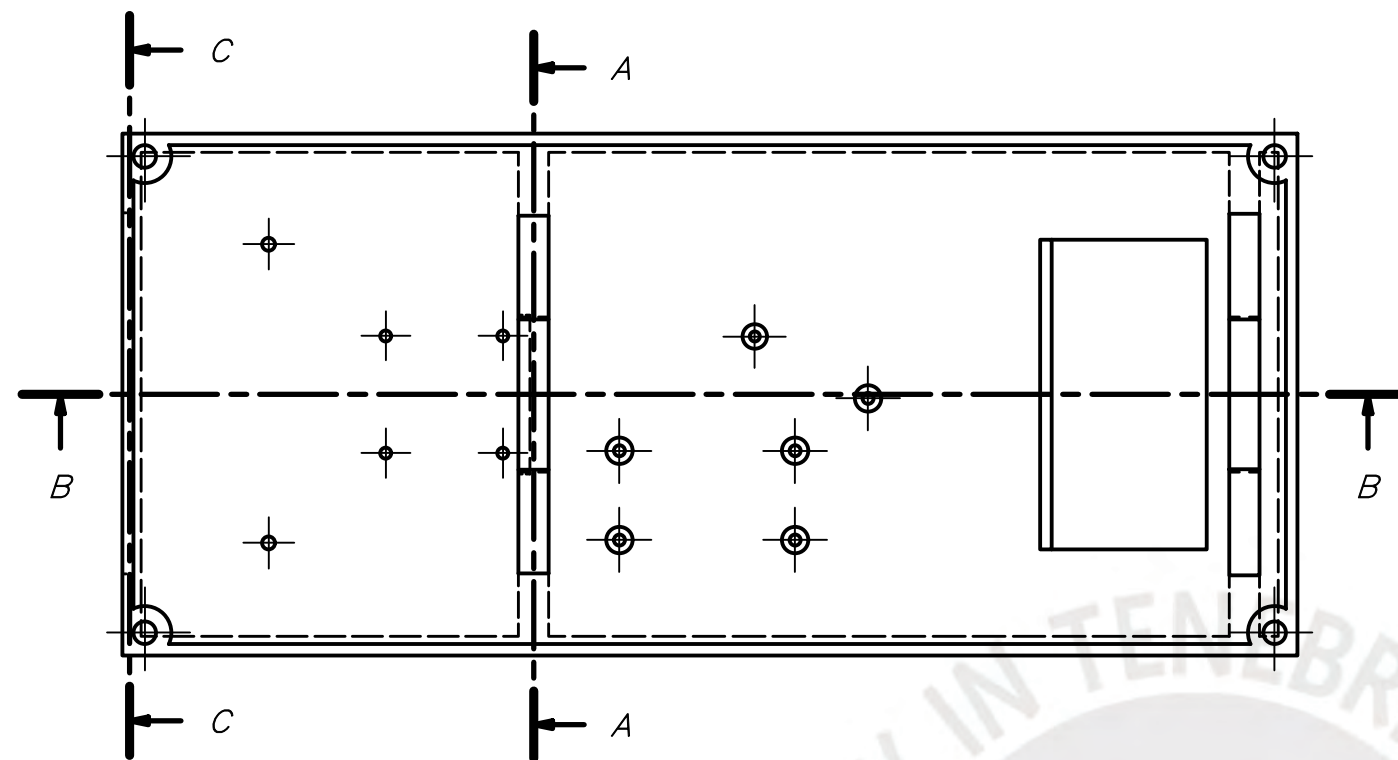
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	PL-M17b	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.24
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



CORTE B-B

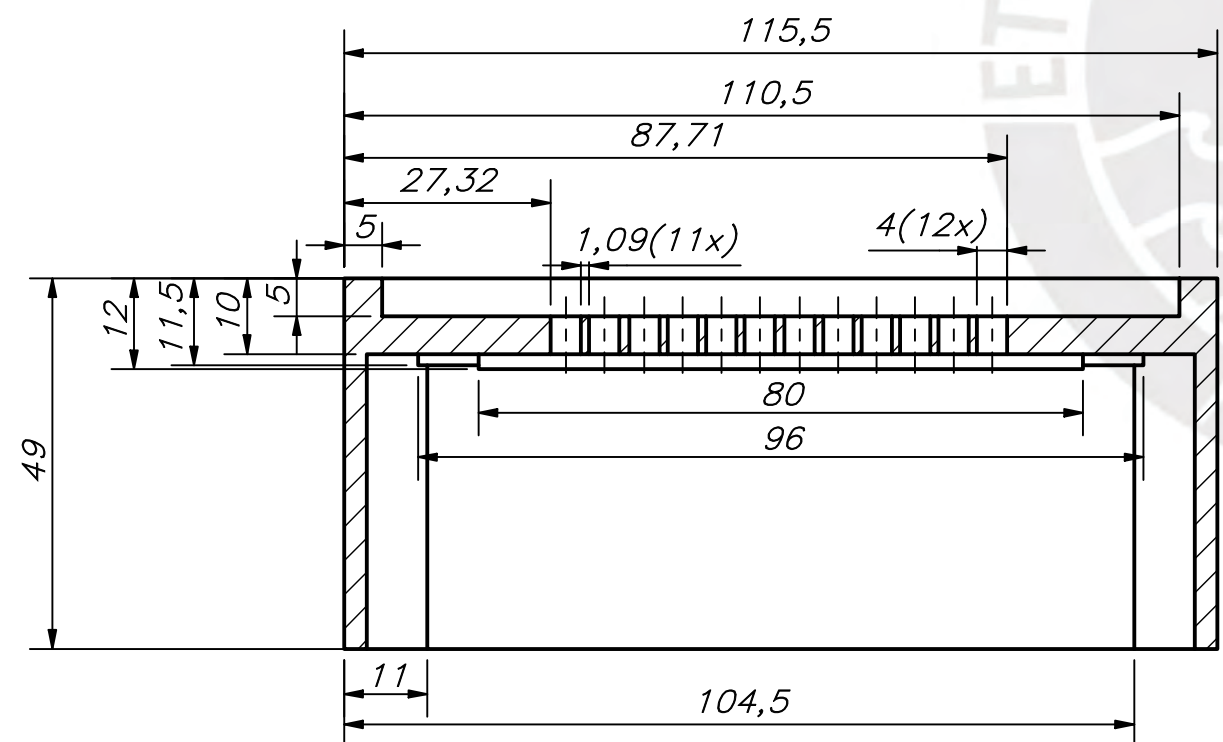
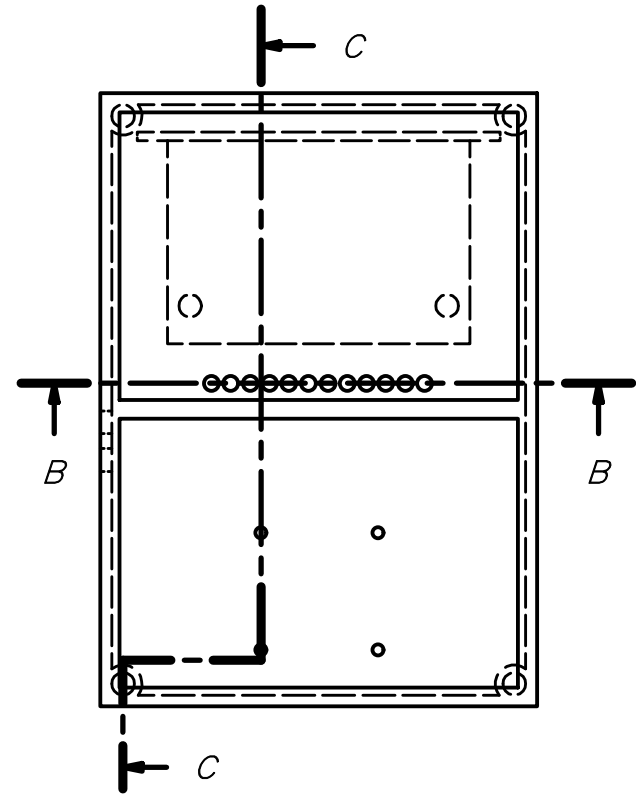
CORTE C-C

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M17c	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.24
		LÁMINA: A3

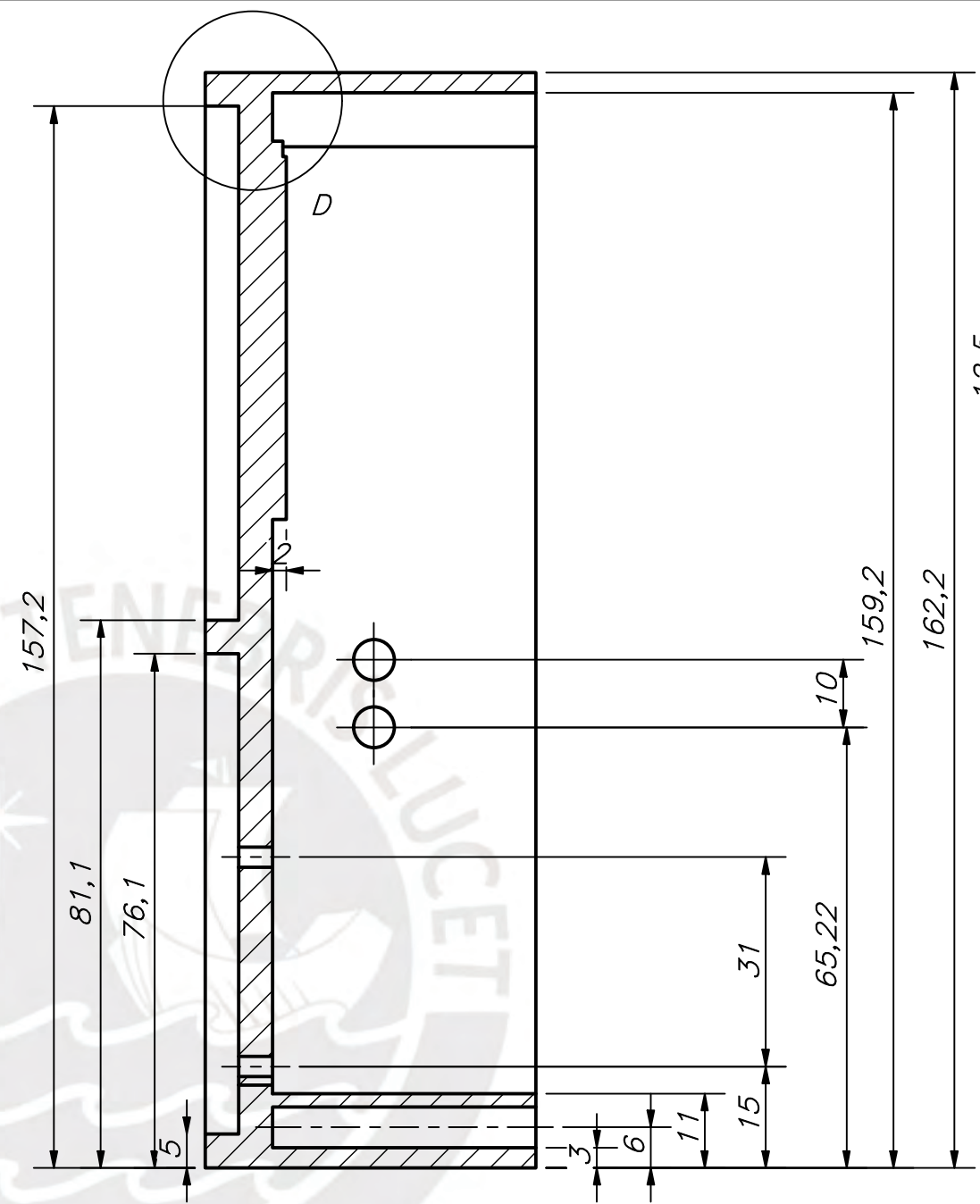
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

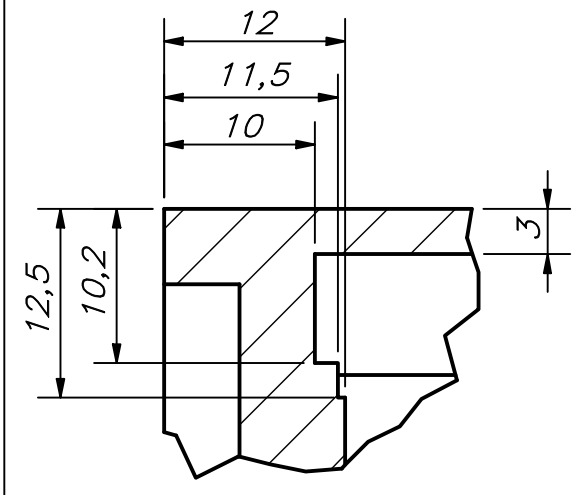
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



CORTE B-B
ESCALA 1:1



CORTE C-C
ESCALA 1:1



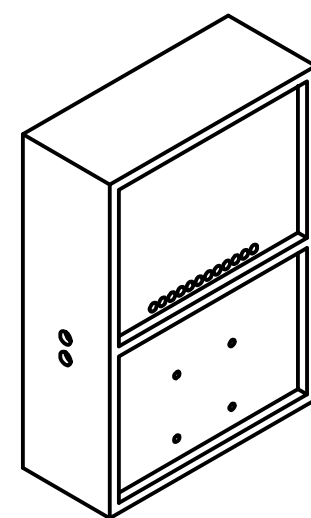
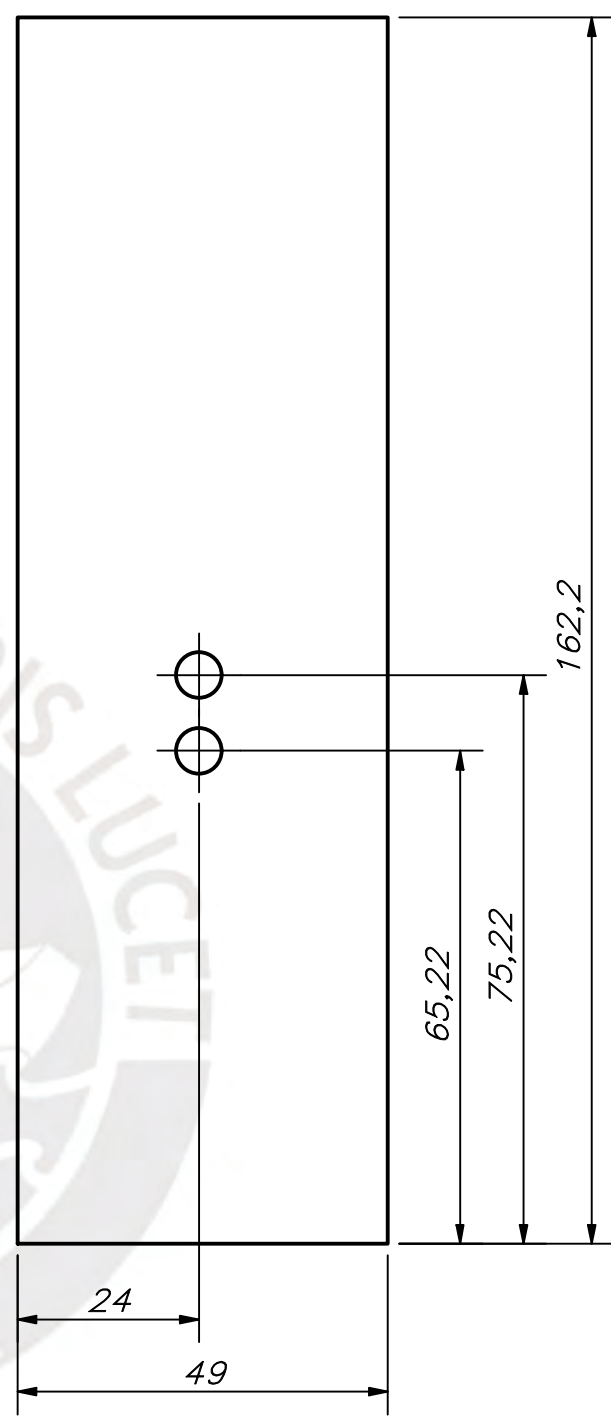
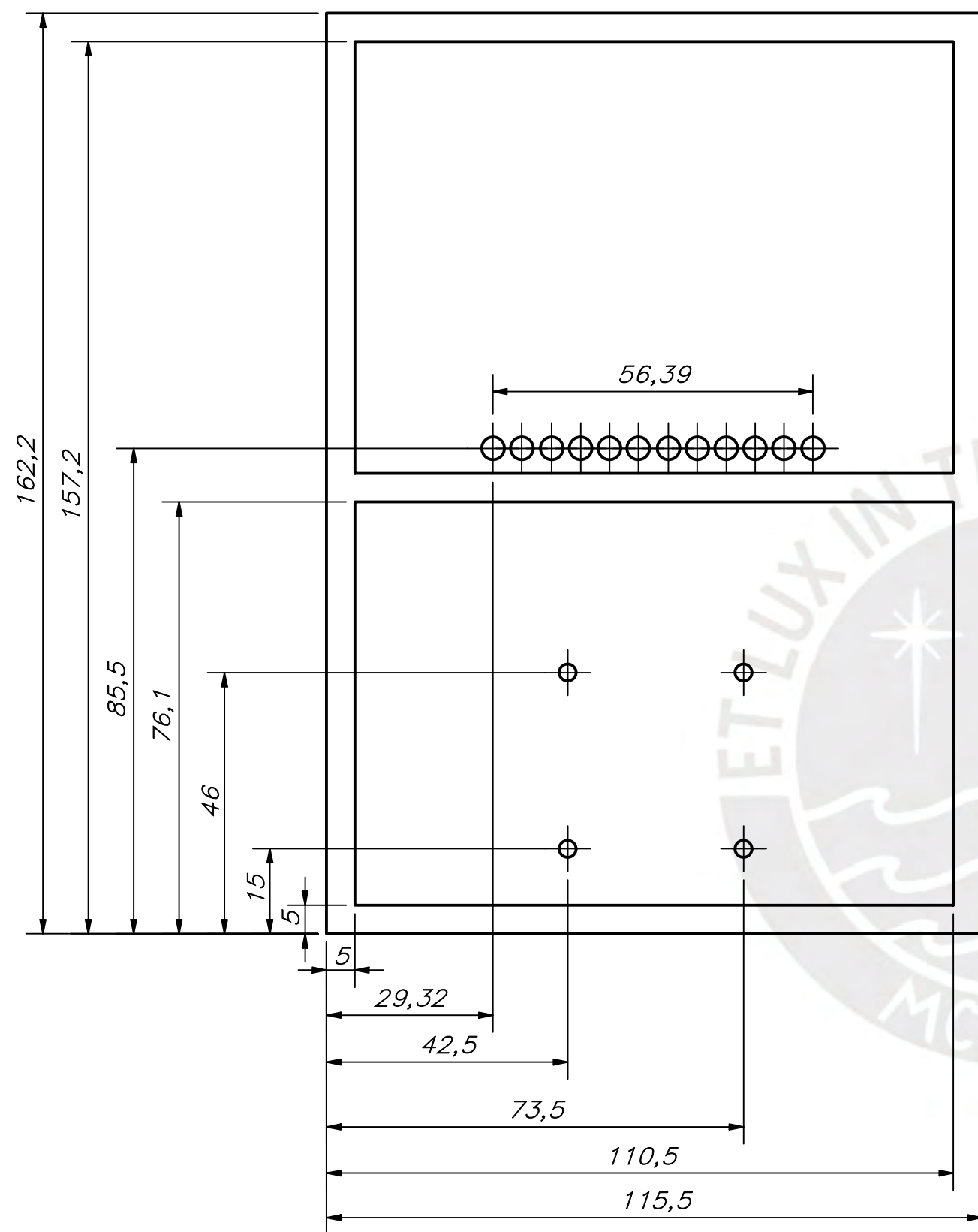
DETALLE D
ESCALA 2 : 1

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√R	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M18a	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA:
		LÁMINA: A3



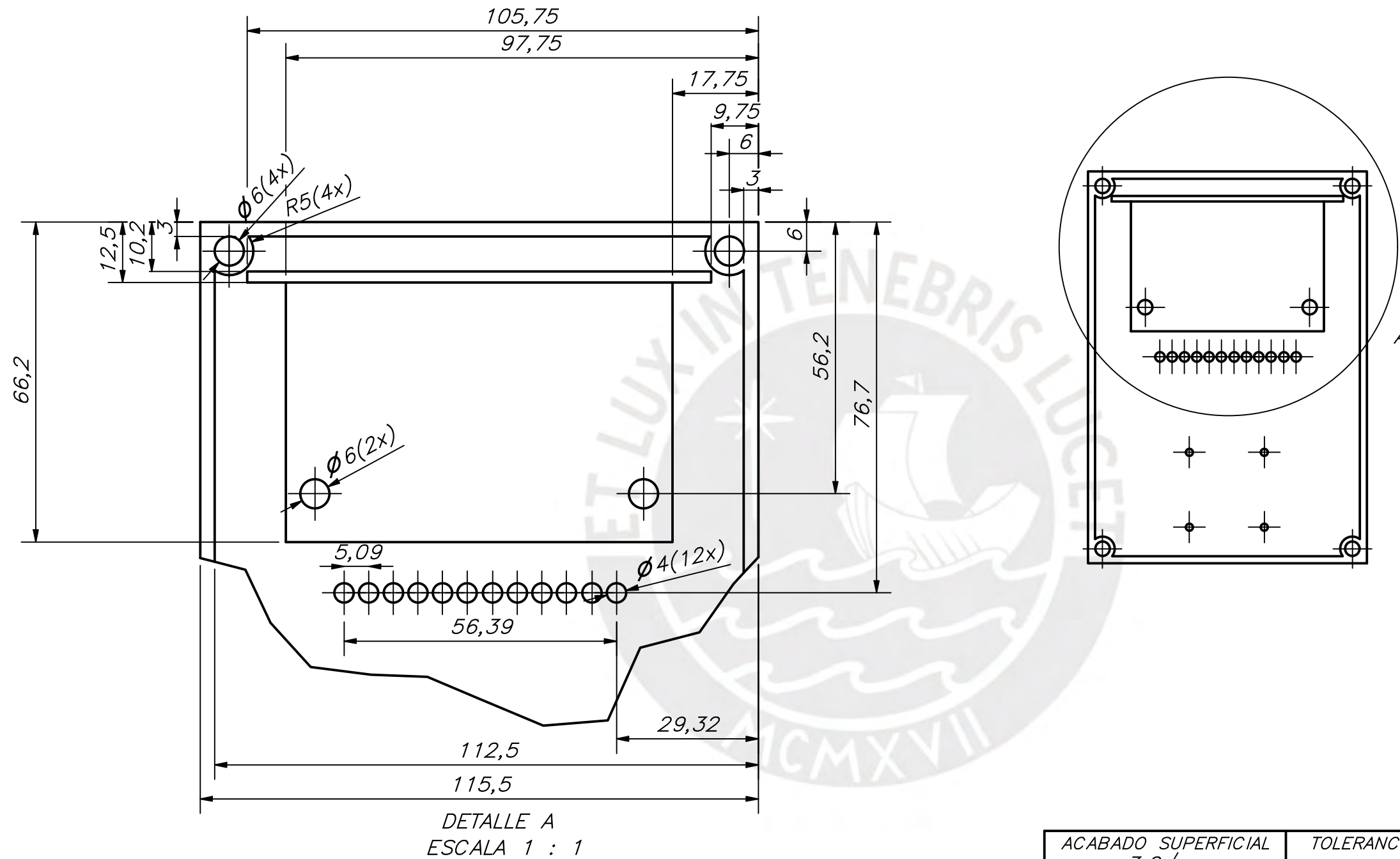
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

Medidas en mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M18b CARCARA DEL DISTRIBUIDOR	ESCALA 1:1
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA:
		LÁMINA: A3



Medidas en mm

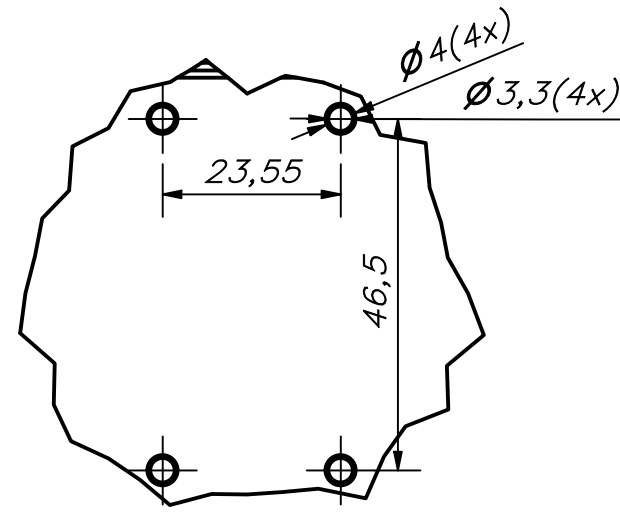
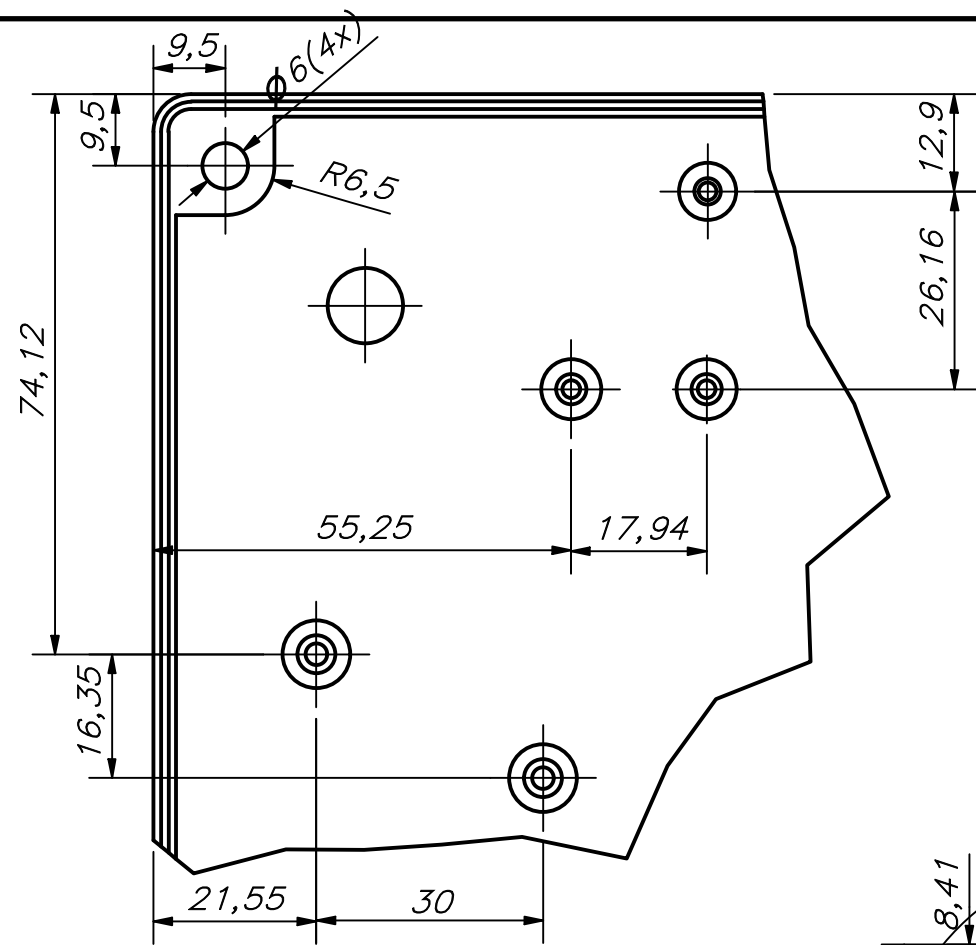
DETALLE A
ESCALA 1 : 1

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M18c CARCASA DEL DISTRIBUIDOR	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2025.09.25
		LÁMINA: A3

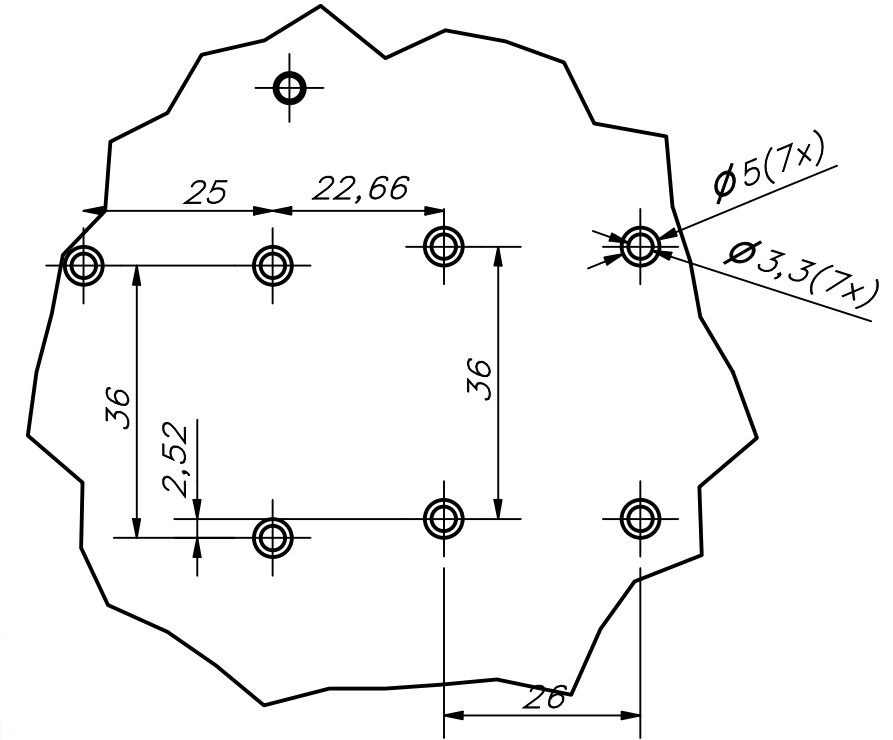
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

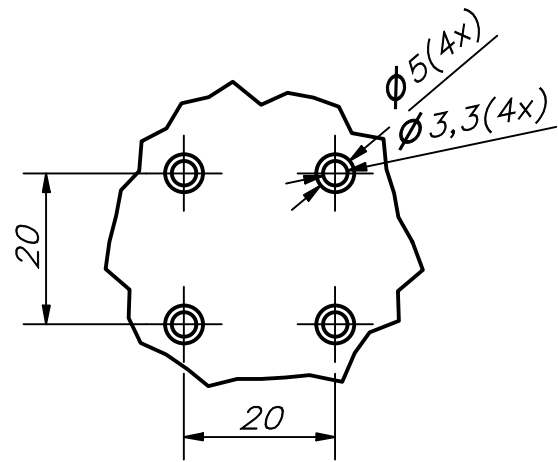


DETALLE D
ESCALA 1 : 1

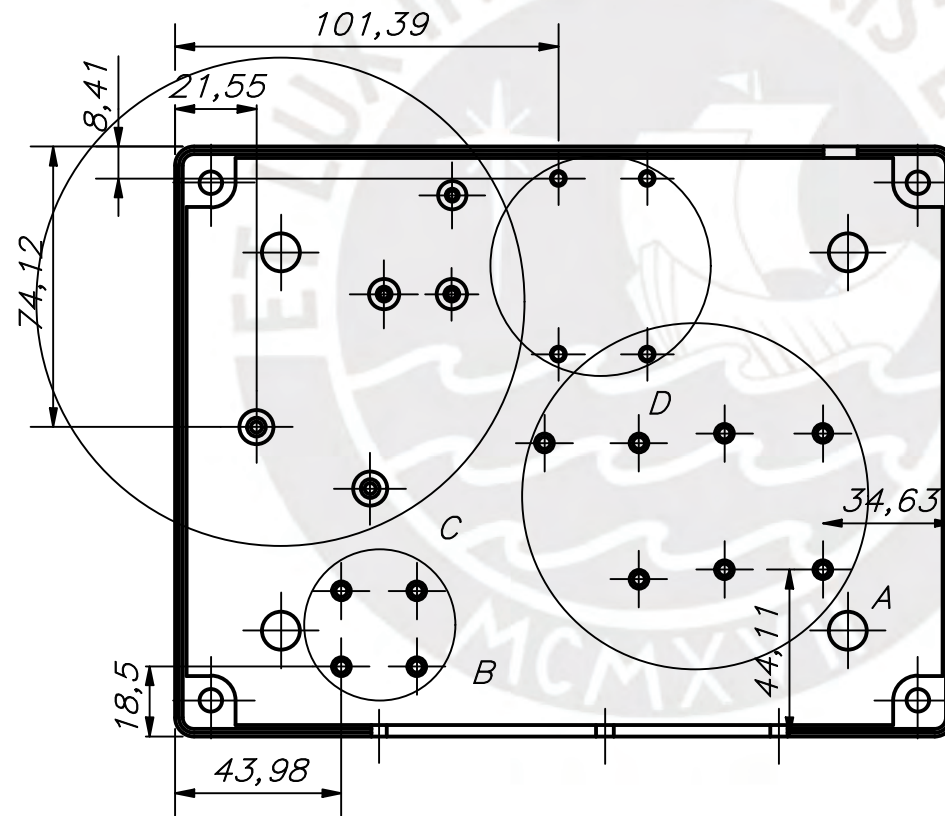


DETALLE A
ESCALA 1 : 1

DETALLE C
ESCALA 1 : 1



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

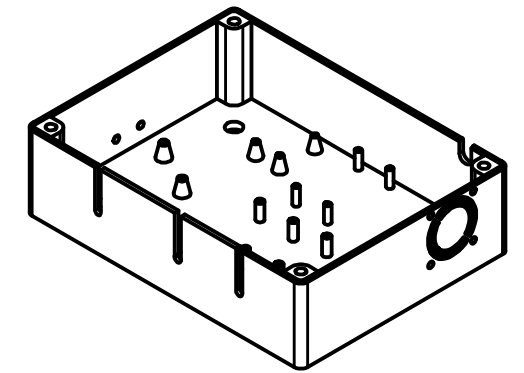
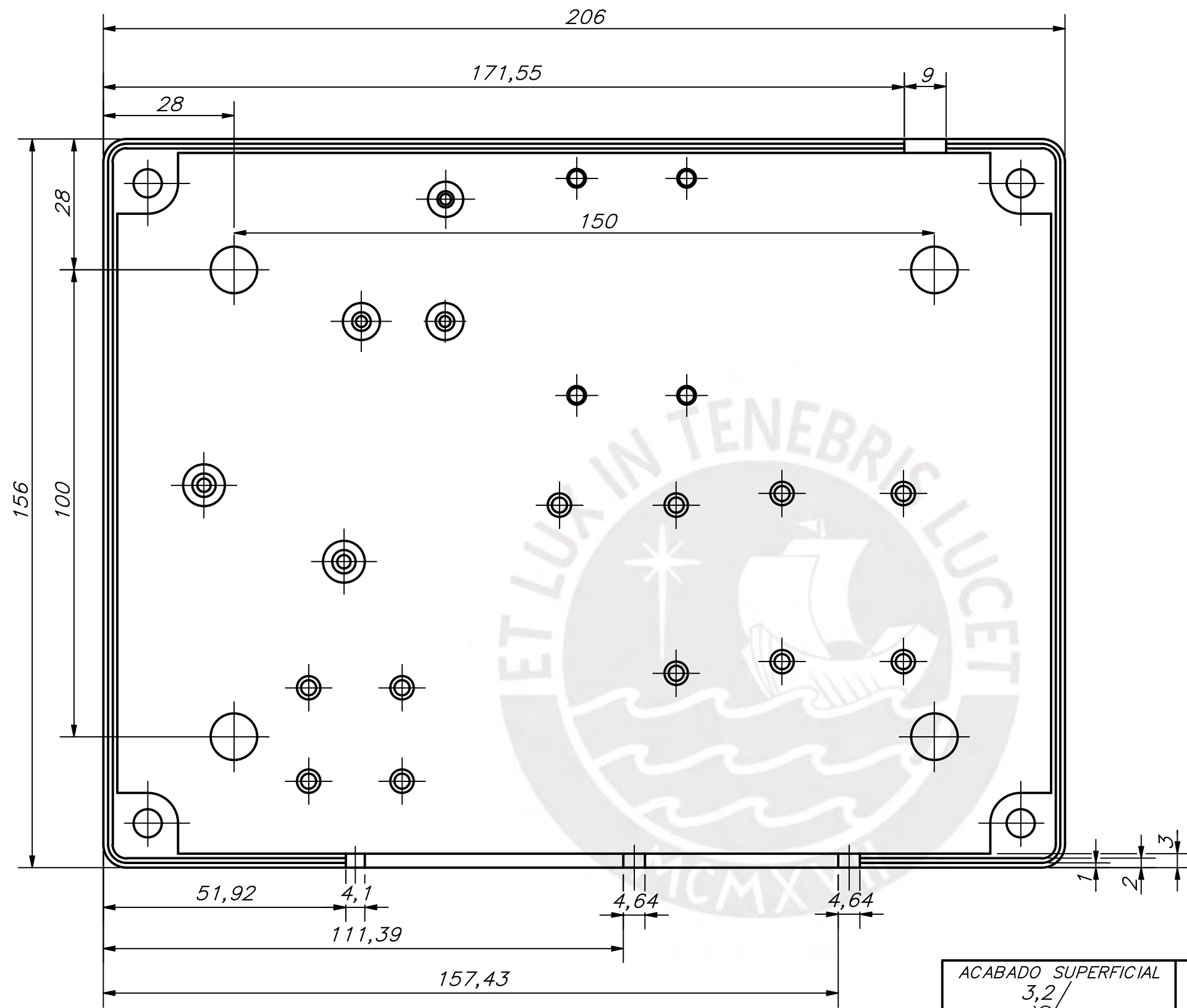


ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M19a CARCAZA DE MONITOREO	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA:
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

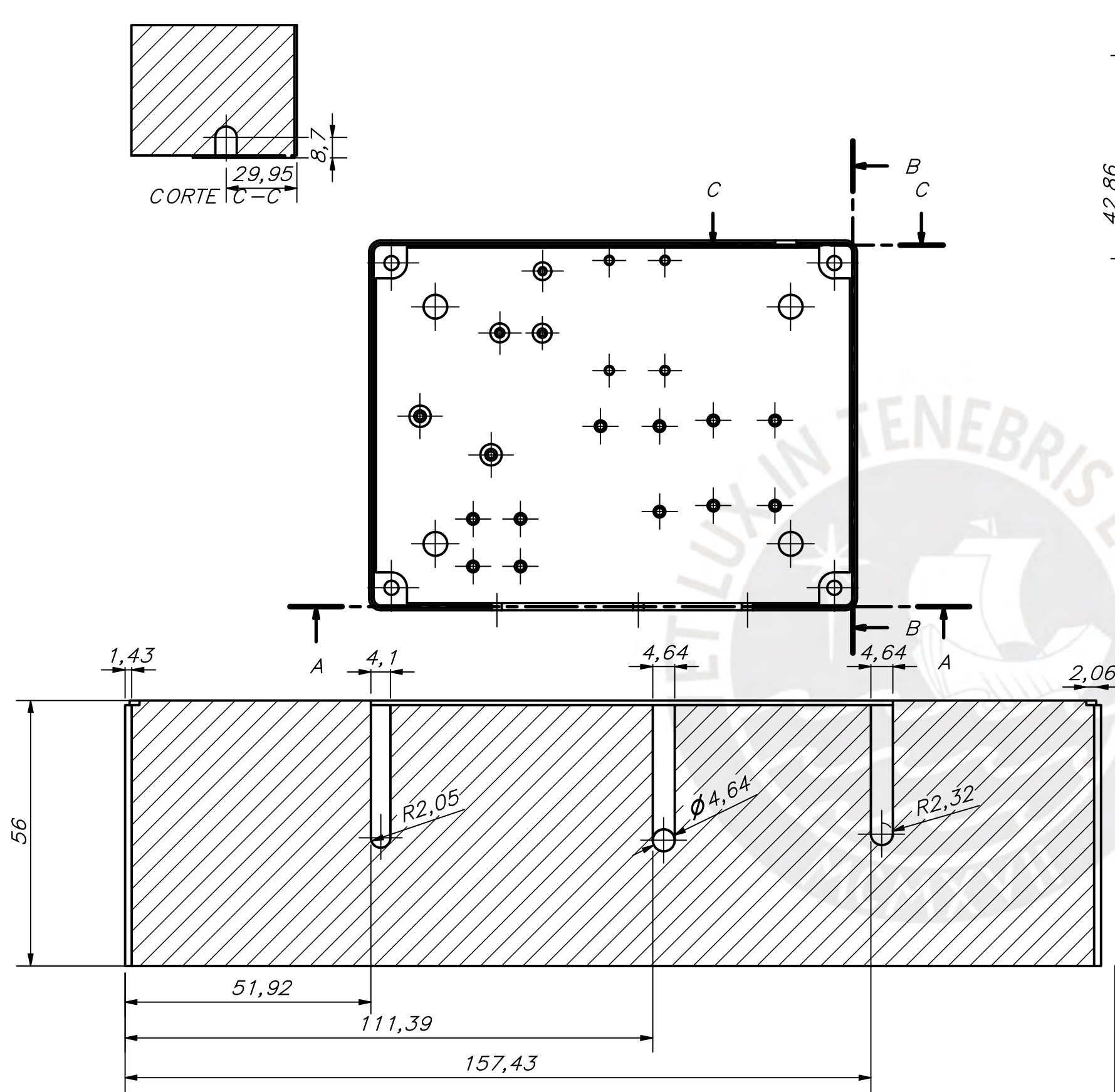
Medidas en mm

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M19b CARCASA DE MONITOREO	ESCALA 1:1
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA:
		LÁMINA: A3

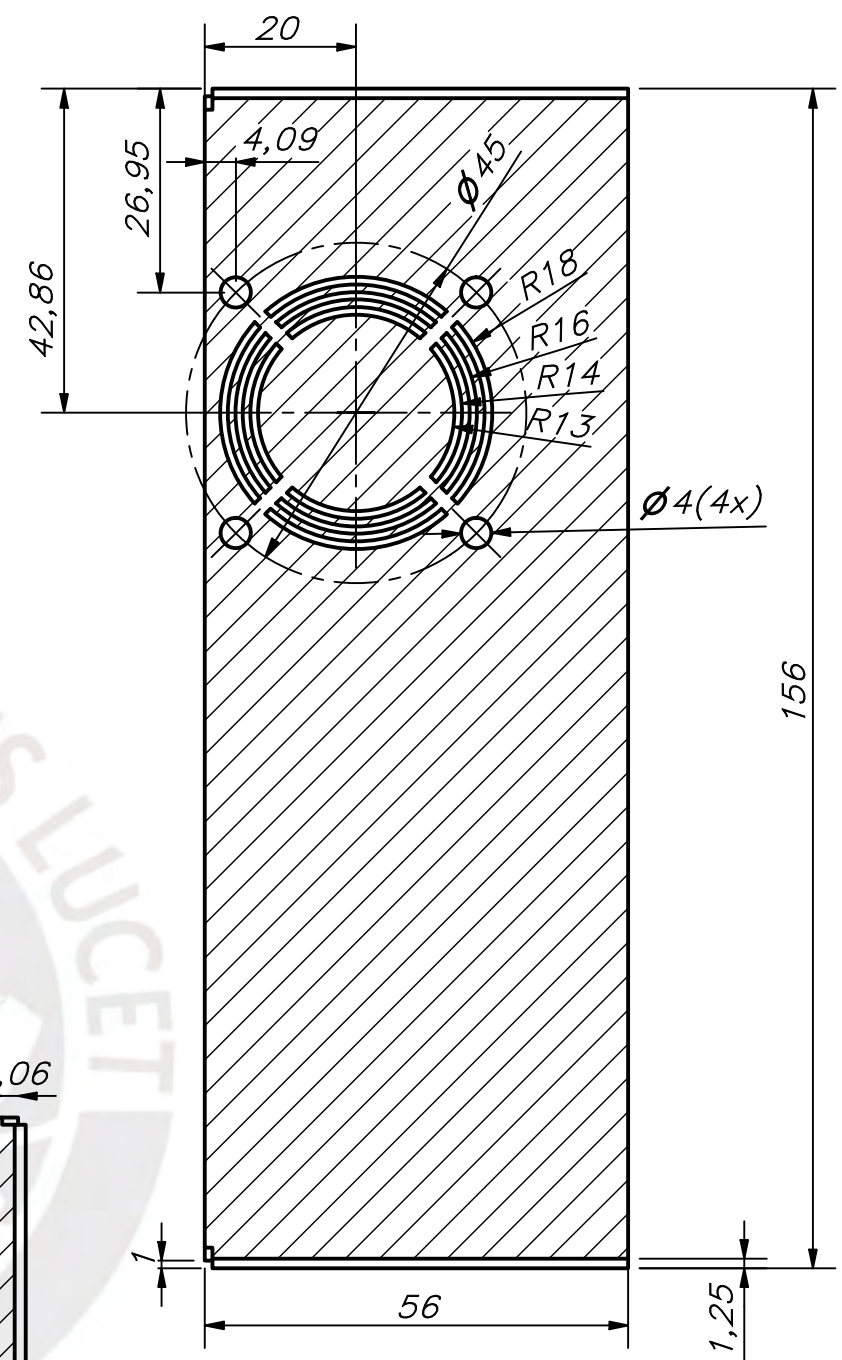
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



CORTE A-A
ESCALA 1:1



CORTE B-B
ESCALA 1:1

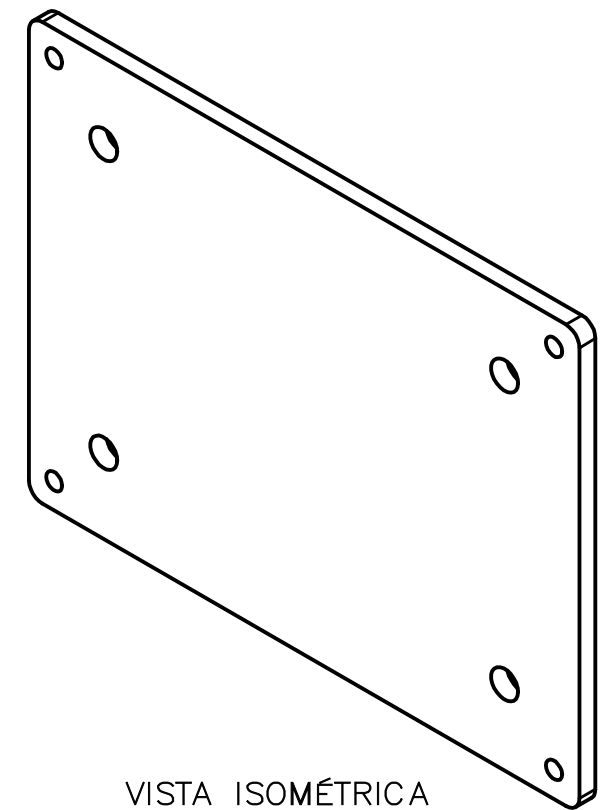
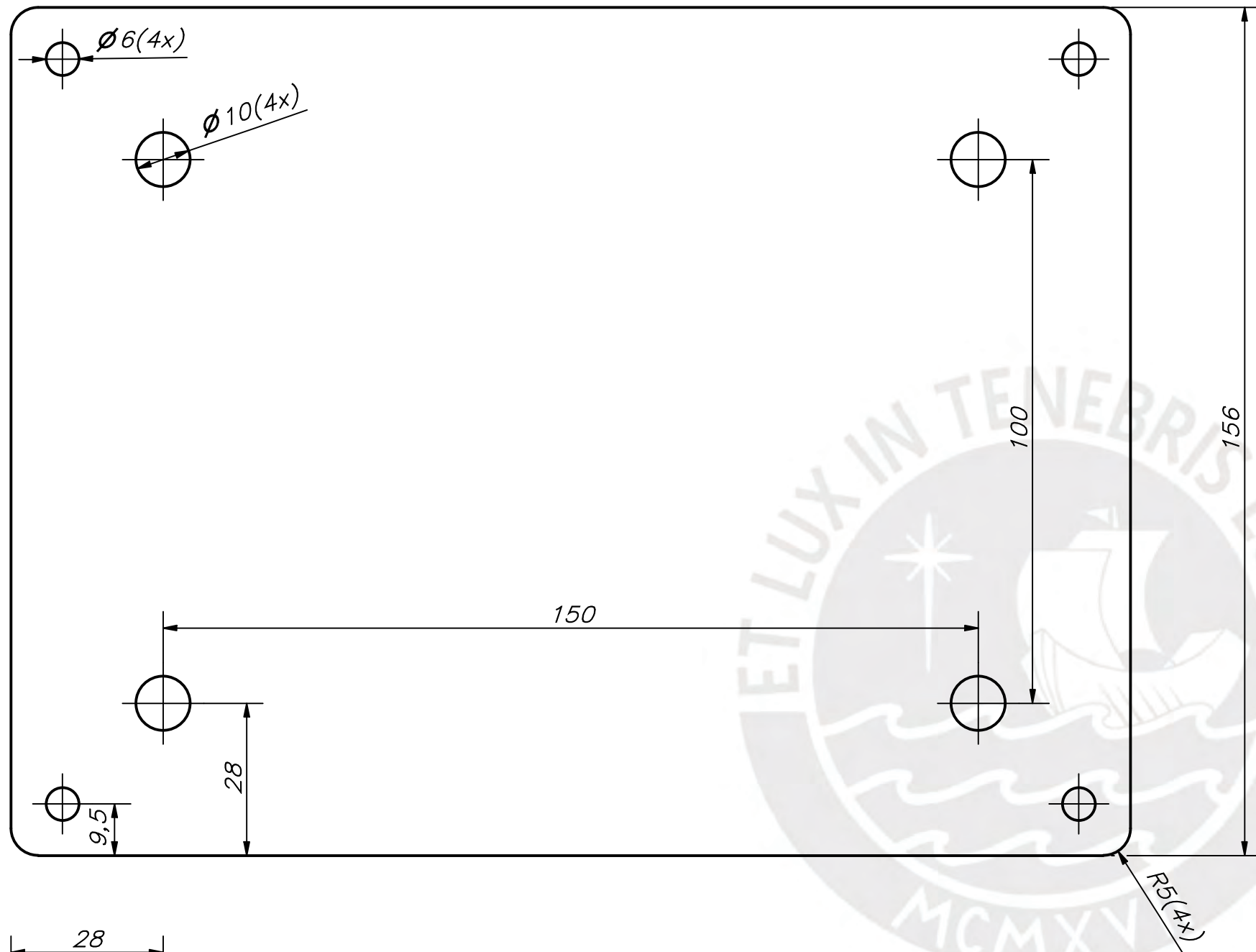
Medidas en mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

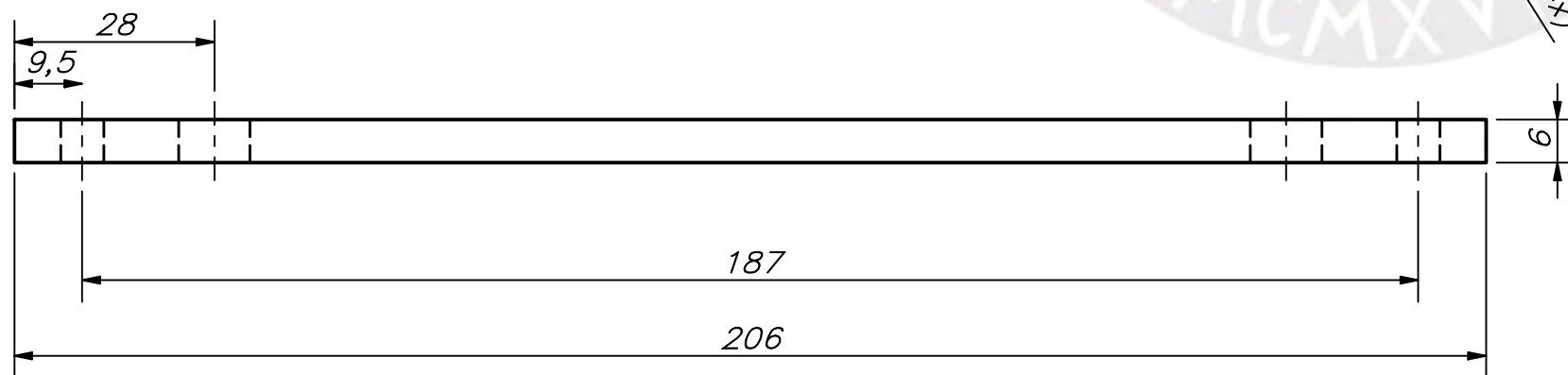
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M19c CARCASA DE MONITOREO	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA:
		LÁMINA: A3



Medidas en mm

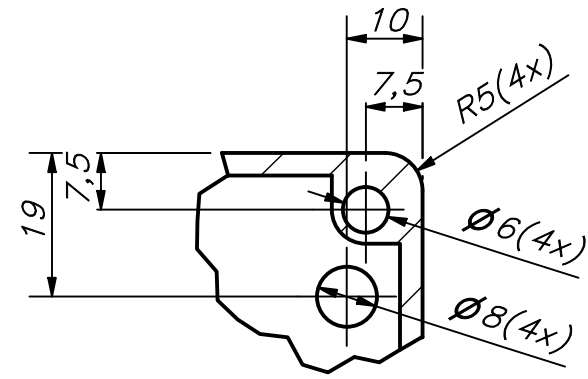
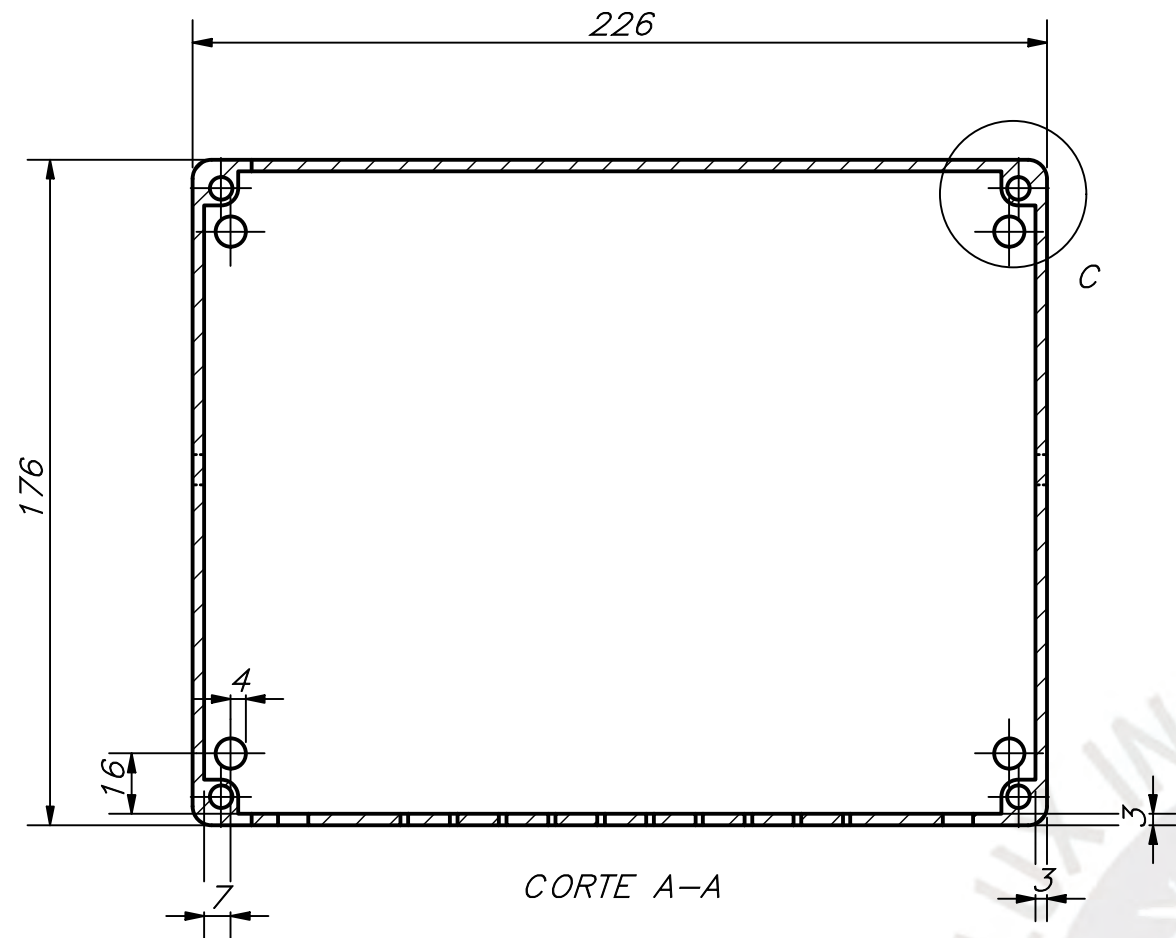


ACABADO SUPERFICIAL 3,2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL ACERO GALVANIZADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PL M20	ESCALA
	SOPORTE METÁLICO PARA MONITOREO	1:1
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
		LÁMINA: A4

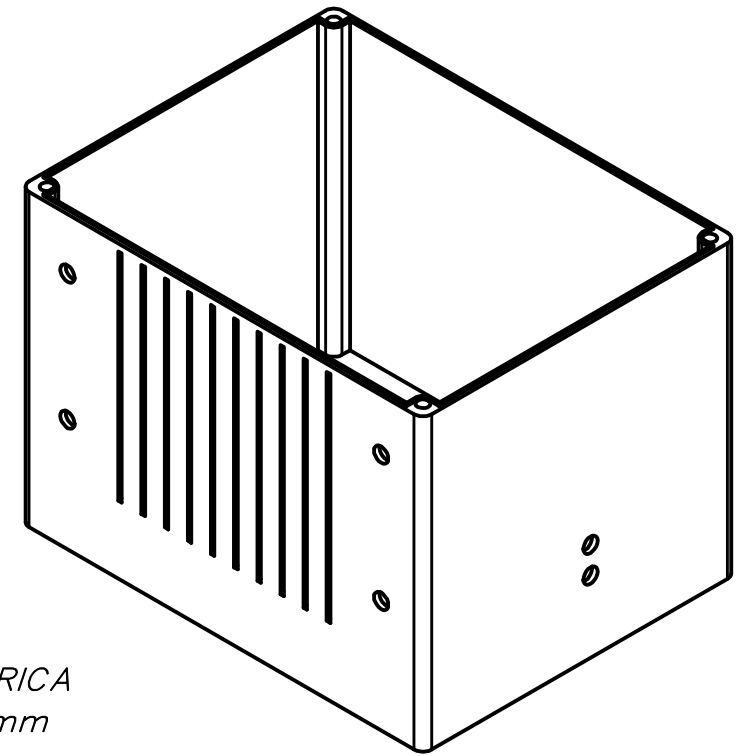
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

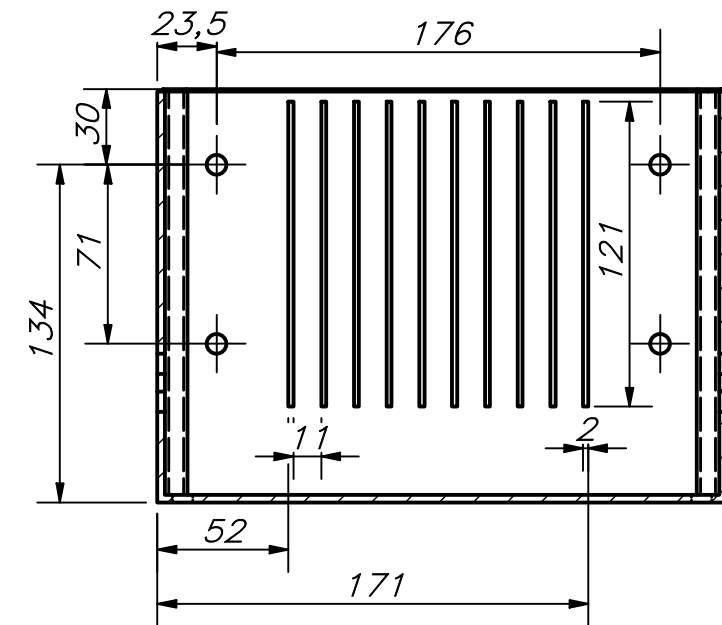
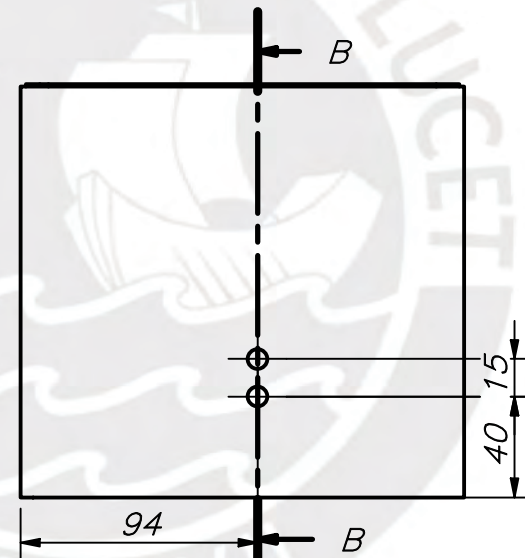
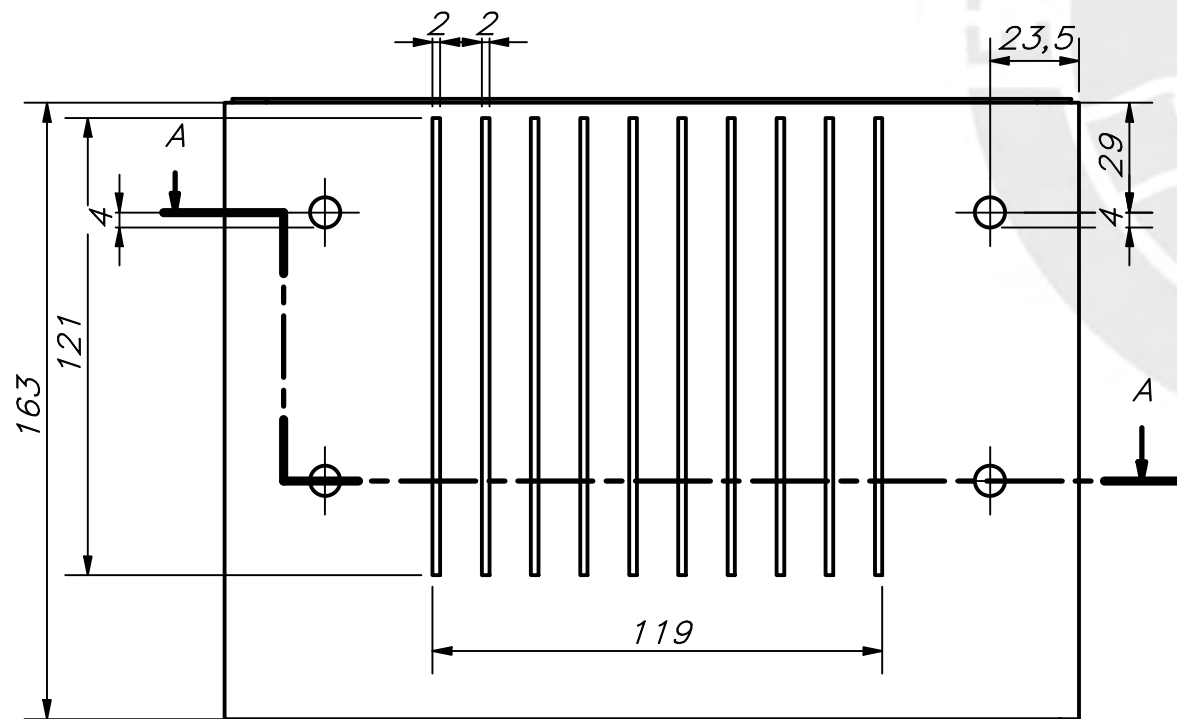
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



DETALLE C
ESCALA 1 : 1



VISTA ISOMETRICA
Medidas en mm



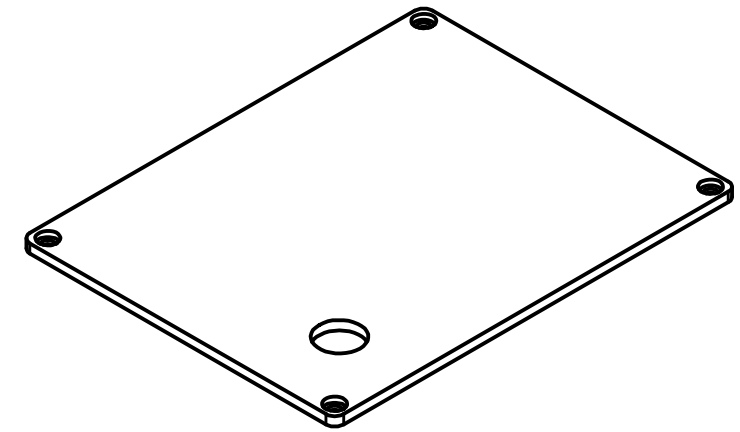
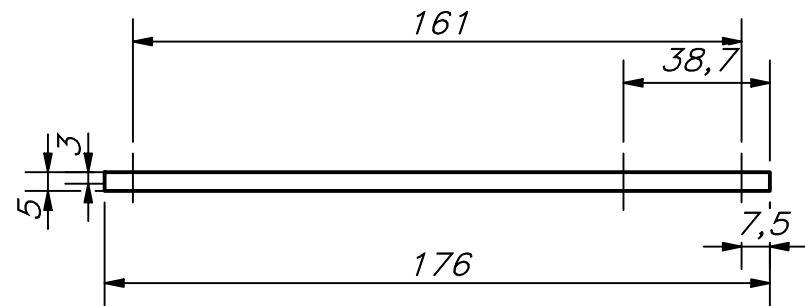
CORTE B-B

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ √	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M21	ESCALA 1:5
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAUL	FECHA: 2025.09
		LÁMINA: A3

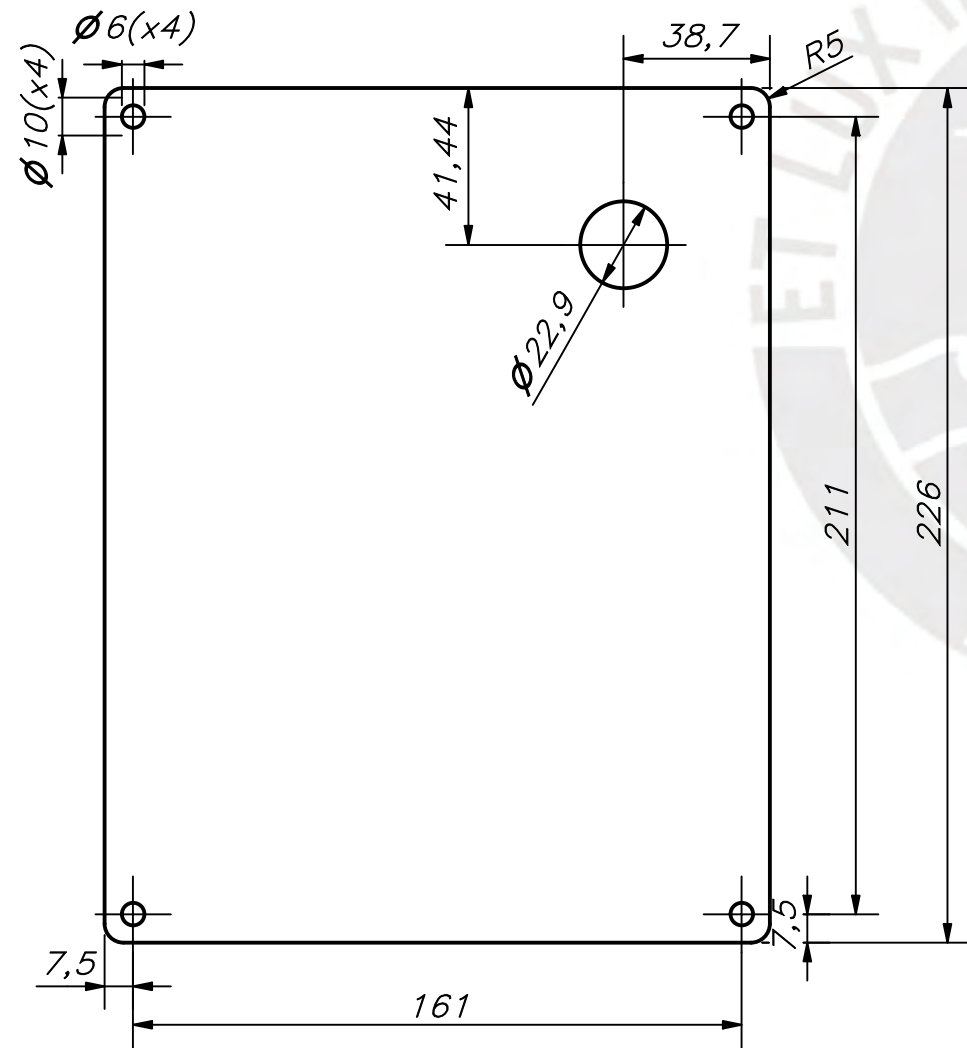
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:3



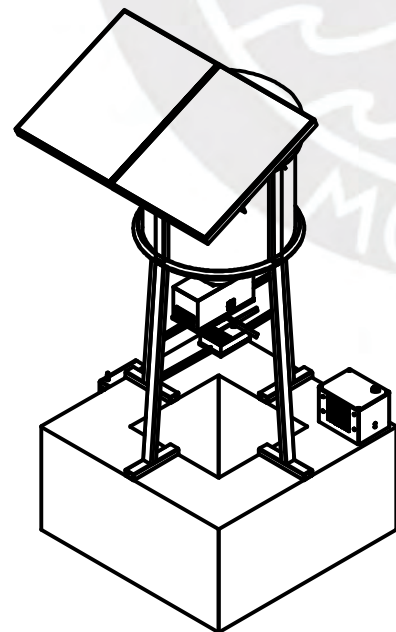
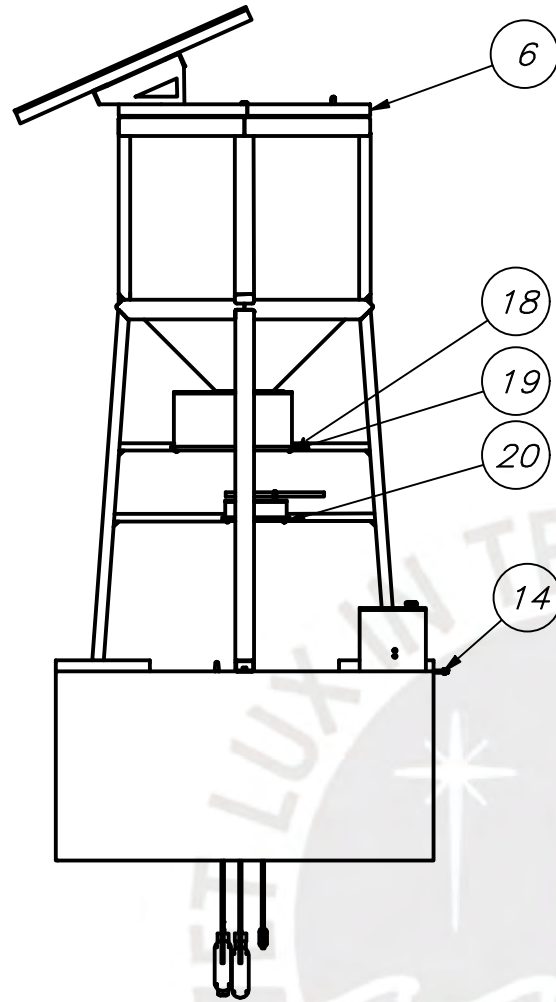
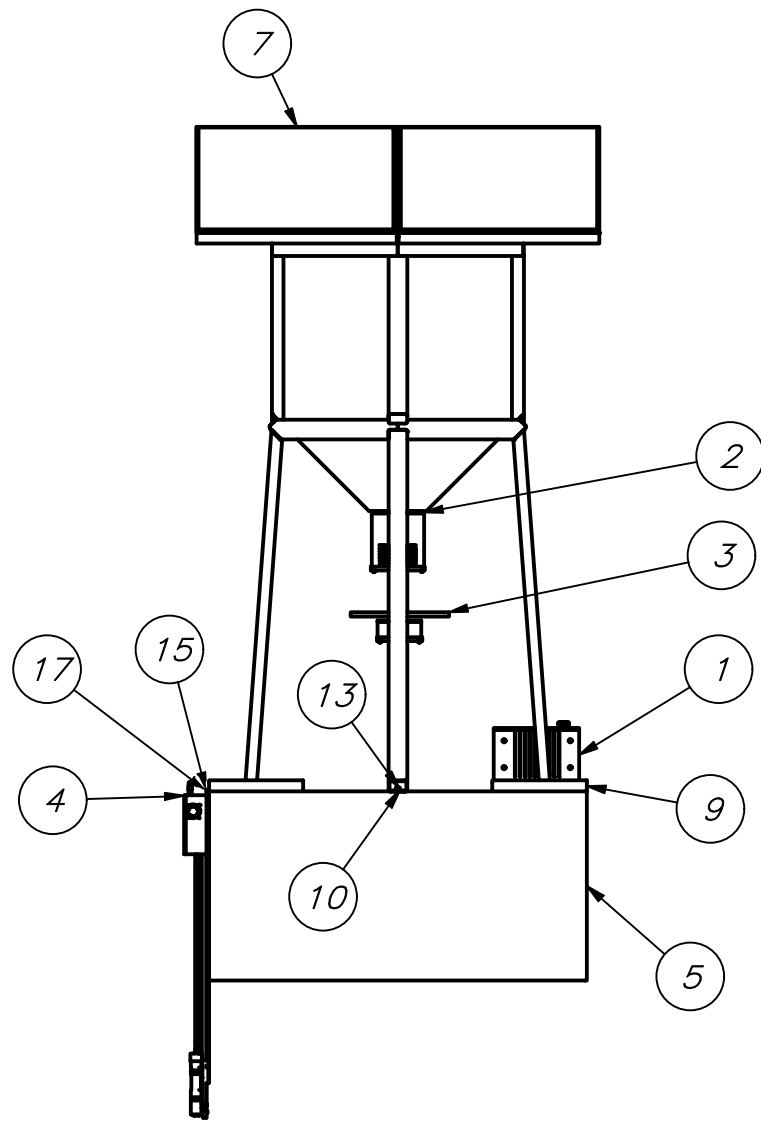
Medidas en mm

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ 	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	PL-M22	ESCALA 1:2
20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
		LÁMINA: A4

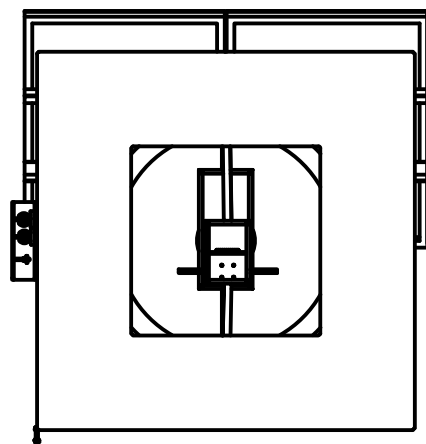
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+/- 0,1	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



VISTA ISOMETRICA
1:30



COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

LISTA DE PARTES

20	8	ISO 7089 - 3	ISO 7089	Acero inoxidable
19	8	ISO 4035 - M3	ISO 4035	Acero inoxidable, 440C
18	8	ISO 1207 - M3 x 16	ISO 1207	Acero inoxidable, 440C
17	1	ISO 4762 - M6 x 40	ISO 4762	Acero inoxidable, 440C
16	20	DIN 125 - A 6,4	DIN 125	Acero, suave
15	5	ISO 4161 - M6	ISO 4161	Acero inoxidable
14	6	ISO 7089 - 6	ISO 7089	Acero inoxidable
13	24	ISO 4762 - M6 x 25	ISO 4762	Acero inoxidable, 440C
12	24	DIN 6923 - M6	DIN 6923	Acero, suave
11	4	ISO 4762 - M6 x 35	ISO 4762	Acero inoxidable, 440C
10	32	DIN 128 - A6	DIN 128	Acero, suave
9	1	SopORTE metalico general		Acero, galvanizado
8	1	Estructura metalica		Genérico
7	1	Panel solar y soporte		
6	1	Nodo tolva+tapa		
5	1	Elemento flotador		Polyethylene, High Density
4	1	Nodo Monitoreo		
3	1	Nodo Distribuidor		
2	1	Tornillo sinfin		
1	1	Nodo Energia		

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL GENÉRICO
---------------------	---	----------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ING. MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	PL M23	ESCALA
	SISTEMA INTEGRADO	1:20

20153026	TOQUE ENCINAS, ERICK SAÚL	FECHA: 2023.06.23
----------	---------------------------	----------------------

		LÁMINA: A3
--	--	---------------