

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA Y
ENTORNO SUBACUÁTICO EN TIEMPO REAL**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERÍA EN FABRICACIÓN Y DISEÑO
INDUSTRIAL con Licenciatura en Ingeniería
en Fabricación y Diseño Industrial.

Alumno:

Simón Josías Cristóbal Álvarez Díaz

Profesor Guía:

Dr. Carlos Ricardo Antillanca Espina

RESUMEN

KEYWORDS: SISTEMA DE MONITOREO MÓVIL - SALMONICULTURA – CONTROL CALIDAD DE AGUA – MONITOREO EN TIEMPO REAL – CALIDAD DE AGUA SALMONERAS

En el presente trabajo de título se muestra el proceso de diseño de un sistema de monitoreo de calidad de agua en entornos submarinos, situando su uso y aplicación en la industria acuícola del sur del país, en específico granjas de criado y cultivo de salmones. Para lograr lo requerido se establecieron objetivos específicos que abarcan la investigación de antecedentes, diseño a detalle del dispositivo y manufactura del prototipo.

En la fase inicial del proyecto se realizará la búsqueda de antecedentes, donde se establece las bases de la problemática, se analiza el prototipo boya existente para tomar consideraciones de diseño. Además, se da un acercamiento al mercado, presentando un modelo de negocios, cliente y usuario objetivo. Finalizando la primera etapa del proyecto con la identificación de requisitos y establecimiento de objetivos.

En cuanto a la segunda fase del proyecto, se lleva a cabo el desarrollo de los objetivos establecidos, definiendo componentes que se adquirirán de terceros, por recomendación del cliente, además de los sensores de medición a utilizar en el dispositivo y consigo, se da paso al diseño de la arquitectura del sistema dividida en 4 capas de desarrollo. Finalizando el capítulo con la definición de planos de fabricación para el prototipo del dispositivo.

Se finaliza el proyecto por medio del término de la fabricación y posterior armado del dispositivo, dejando el prototipo funcional listo para realizar pruebas. Dichas pruebas se realizan en un entorno controlado, siendo la piscina de la casa central de la Universidad Técnica Federico Santa María. En estas pruebas se buscará ver si el dispositivo funciona bajo el agua, revisando si muestra datos realistas o si presenta fugas en su carcasa estructural.

ABSTRACT

KEYWORDS: MOBILE MONITORING SYSTEM - SALMONICULTURE – WATER QUALITY CONTROL – REAL TIME MONITORING – WATER QUALITY IN SALMON FARMS

The following project shows the design process of an underwater environment quality monitoring system, placing its application in the Chilean south aquaculture industry, specifically in the salmon farms area. To reach the requirements of the project, the team established specific objectives that embrace the investigation of background information, detailed design of the device and lastly the manufacturing of the prototype.

Starting with the project will be the research of background information, where the team establishes the problem bases, analyzing the existing buoy prototype to take design considerations. Furthermore, an approach to the target market is given, presenting the business model, client and target user. Finalizing the first stage of the project with the identification of the requirements and establishing the project objectives.

As for the second phase of the project, the development of the established objectives is carried out, defining components that will be acquired from third parties, on the recommendation of the client, in addition to the measurement sensors to be used in the device and with it, the design of the system architecture divided into 4 development layers. Ending the chapter with the definition of manufacturing drawings for the prototype of the device.

The project is finalized through the completion of manufacturing and subsequent assembly of the device, leaving the functional prototype ready for testing. These tests are carried out in a controlled environment, the swimming pool at the headquarters of the Federico Santa María Technical University. These tests will seek to see if the device works underwater, checking if it shows realistic data or if it has leaks in its structural casing.

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

ROV	:	Remote Operated Vehicle.
PVC	:	Policloruro de vinilo.
POM	:	Polioximetileno.
HDPE	:	High Density Polyethylene (Polietileno de alta densidad).
PP	:	Polipropileno.
CNC	:	Computer Numerical Control (Control numérico por computadora).
PLA	:	Polylactic Acid (Ácido poliláctico).

SIMBOLOGÍAS

mm	:	Milímetros.
cm	:	Centímetros.
cm ³	:	Centímetros cúbicos.
m	:	Metros.
mg	:	Miligramos.
g	:	Gramos.
g/cm ³	:	Densidad.
L	:	Litros.
MPa	:	Mega pascales.
mg/L	:	Concentración.
pH	:	Potencial de hidrógeno.
ppm	:	Partes por millón.
°C	:	Grados Celcius.

ÍNDICE

RESUMEN	
SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DEL PROYECTO	2
1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO	3
1.1. Antecedentes generales	3
1.1.1. Definición y contexto del problema	3
1.1.2. Acercamiento a la solución	5
1.2. Estado del arte	6
1.2.1. Prototipo boya	6
1.3. Comprensión del mercado	10
1.3.1. Usuario y cliente objetivo	11
1.4. Objetivos del proyecto	12
1.4.1. Objetivo general	12
1.4.2. Objetivos específicos	12
1.5. Requisitos de diseño	12
1.5.1. Requisitos funcionales	13
1.5.2. Requisitos no funcionales	13
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE INGENIERÍA	14
2. DISEÑO DE INGENIERÍA	15
2.1. Alcances de diseño	15
2.2. Arquitectura del sistema	15
2.3. Definición del producto a desarrollar	17
2.3.1. Diagrama de funciones	17
2.3.2. Diagrama de proceso de uso del producto	18
2.3.3. Fabricación preliminar	19
2.4. Análisis de alternativas morfológicas	23
2.5. Desarrollo de piezas y definición de materiales	25
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE RESULTADOS	29

3.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	30
3.1.1.	Prototipo desarrollado	30
3.2.	Definición de pruebas y criterios a evaluar	33
3.2.1.	Prueba 1: Armado del dispositivo	33
3.2.2.	Prueba 2: Aseguramiento de sistema hermético	34
3.2.3.	Prueba 3: Funcionamiento dispositivo en entorno controlado	34
3.3.	Análisis de resultados obtenidos	34
3.3.1.	Resultados Prueba 1: Armado del dispositivo	34
3.3.2.	Resultados Prueba 2: Aseguramiento de sistema hermético	35
3.3.3.	Resultados Prueba 3: Funcionamiento dispositivo en entorno controlado	36
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
	BIBLIOGRAFÍA	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Foto carcasa de boya.	6
Figura 1-2.	Foto circuito integrado en carcasa.	7
Figura 1-3.	Foto flotador para carcasa.	7
Figura 1-4.	Concesiones salmoneras en el año 2020.	10
Figura 2-1.	Arquitectura del sistema.	16
Figura 2-2.	Distribución de componentes dispositivo monitoreo submarino.	17
Figura 2-3.	Diagrama de funciones sistema de calidad de agua móvil.	18
Figura 2-4.	Diagrama proceso de uso sistema de monitoreo móvil (1).	19
Figura 2-5.	Diagrama proceso de uso sistema de monitoreo móvil (2).	19
Figura 2-6.	Diagrama componentes de circuito.	22
Figura 2-7.	Alternativa 1, sistema de dos tubos de unidos por placas.	23
Figura 2-8.	Alternativa 2, sistema de dos tubos unidos en la tapa de aluminio.	24
Figura 2-9.	Alternativa 3, sistema de jaula completamente inundable.	25
Figura 2-10.	Maqueta virtual Housing y microcontroladores.	26
Figura 2-11.	Maqueta virtual soporte sensores.	26
Figura 2-12.	Maqueta virtual sistema de protección de sensores.	27
Figura 2-13.	Maqueta virtual sistema de sujeción al ROV.	28
Figura 2-14.	Maqueta virtual sistema unido por abrazaderas.	28

Figura 3-1. Mecanizado CNC de plancha de PP industrial.	30
Figura 3-2. Fabricación piezas impresas en 3D con PLA.	31
Figura 3-3. Sellado de pasacables Pegamento Fusion Epoxy.	32
Figura 3-4. Sellado conexiones SMA con cina Coax Seal.	32
Figura 3-5. Prototipo sistema de medición de calidad de agua en tiempo real.	33
Figura 3-6. Prototipo preparado para prueba 2.	35
Figura 3-7. Prototipo encendido en superficie.	36
Figura 3-8. Prototipo sumergido en entorno piscina USM.	37
Figura 3-9. Captura Dashboard, Promedios mediciones durante prueba 3.	37
Figura 3-10. Captura Dashboard, Grafica de pH durante prueba 3.	38
Figura 3-11. Captura Dashboard, Gráfica Salinidad durante prueba 3.	39
Figura 3-12. Captura Dashboard, Gráfica Oxígeno disuelto durante prueba 3.	40
Figura 3-13. Captura Dashboard, Gráfica Temperatura durante prueba 3.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Alternativas del mercado.	8
Tabla 1-2. Investigaciones relacionadas.	9
Tabla 1-3. Lienzo Lean Canvas	11
Tabla 2-1. Componentes por adquirir en BlueRobotics.	20
Tabla 2-2. Comparativas propiedades de materiales de fabricación.	21

ANEXOS	46
ANEXO A CARTA GANTT	46
ANEXO B ENTREVISTA EDUARDO GARCÍA AQUAROV	47
ANEXO C PLANOS DE FABRICACIÓN	51

INTRODUCCIÓN

La industria acuícola en Chile es uno de los pilares económicos para el país, siendo la salmicultura la principal actividad realizada, demostrando un total de 8.500 millones de dólares en el año 2022 en cuestiones de exportaciones (FAO, 2023). Como consecuencia al enorme crecimiento de la industria, las normativas sanitarias y medioambientales se han vuelto cada vez más estrictas, dando foco a las condiciones en las que se desarrollan los salmones, pues en un medioambiente no controlado están expuestos a bacterias, hongos y agentes patógenos, generándose así la necesidad de sistema de monitoreo que pueda satisfacer esta problemática.

Este proyecto se enfoca en el diseño y fabricación de un dispositivo de uso subacuático móvil con la capacidad de recopilar datos ambientales en tiempo real dentro de diferentes sectores de una jaula de crianza de salmones. El dispositivo en cuestión se debe acoplar a un Vehículo Operado Remotamente de uso submarino y enviar datos las centrales de control que se encuentran en tierra firme, siendo recibidos a tiempo real.

Para abordar lo requerido se conformó un equipo multidisciplinario compuesto por los estudiantes Karolain Cabrera, Francisco López, Cristhian Urrea y Simón Álvarez (autor del presente documento), quienes se encargarán de las áreas telemáticas y diseño respectivamente. El proyecto en cuestión se lidera por los profesores de la Universidad Técnica Federico Santa María Marcos Zúñiga y Mohamed Abdelhamid, con la denominación FONDEF 2022, ID22I10091. Donde el equipo tiene como objetivo principal “Diseñar un sistema de monitoreo de calidad del agua usando un robot subacuático”.

En este trabajo de título se utilizará la metodología Design Thinking, donde se diseñará de manera secuencial la carcasa estructural del dispositivo de control de agua, pasando por etapas de diseño preliminar y conceptual hasta lograr un diseño a detalle, pasando en última instancia a la etapa de prototipado donde se analizará el dispositivo en un ambiente controlado.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DEL PROYECTO

1. **ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

A continuación, se dará un acercamiento al tema, comenzado por una contextualización al área acuícola, además de mencionar como la industria evoluciona debido a los requerimientos sanitarios de la crianza de salmones. También se mostrará la problemática a resolver en el presente proyecto y se enseñarán a las tecnologías que se encuentran disponibles en el mercado.

1.1. **ANTECEDENTES GENERALES**

Acuicultura se define como toda aquella actividad de crianza, cultivo y recolección de organismos marinos, siendo esta una de las principales actividades económicas realizadas en Chile, el cual es bañado casi en su totalidad por el océano pacífico.

En específico este documento se centra en el área de crianza de salmones o salmonera del país, área relativamente joven en la historia del país, comenzando su industrialización en los años 70 y entrando al mercado internacional a principios de los años 90, demostrando un crecimiento continuo hasta la actualidad. Sin embargo, la industria tuvo un quiebre el 2007 con la aparición de la enfermedad ISA (infectious salmon anemia), la cual provocó que 60% de los centros de cultivo dejaran de producir afectando a cientos de empleos (Consejo del Salmón, 2021). Debido a este hito, se creó un nuevo marco regulatorio para la industria, acompañado de un proceso de recuperación para la industria, que trajo consigo la necesidad de prácticas innovadoras y seguras para mantener para regular la industria.

“La calidad del agua en la producción de peces juega un papel fundamental en el éxito productivo” (Zanolo, 2022), pues es en este medio donde los peces desarrollan sus procesos metabólicos, de excreción y crecimiento. Además, dentro del medioambiente los peces se encuentran expuestos a agentes patógenos como bacterias, hongos y parásitos. Por esto se reitera la importancia del monitoreo constante para tener niveles óptimos de temperatura, oxígeno, pH, salinidad, entre otros parámetros de importantes.

1.1.1. **Definición y contexto del problema**

Dentro de las jaulas de salmones se utilizan sistemas que ayudan a controlar la producción de salmones. Por el lado de control de los parámetros del agua se utilizan diferentes tipos de sensores que se encargan de medir parámetros importantes para

mantener la salud de los salmones, como se mencionó en el apartado anterior, estos sensores especializados se encuentran fijos en zonas críticas de las jaulas. En cuestiones de control de la integridad de las mallas, se utilizan Vehículos Operados Remotamente o ROV por sus siglas en inglés, dichos vehículos se encargan de realizar una inspección a tiempo real, por medio de cámaras en busca de daños en la malla que generen pérdidas en la biomasa. Sin embargo, el biofouling representa una de las mayores dificultades a la que se enfrentan los productores en la industria acuícola y que tiene un costo cercano al 10% de la producción de salmón (USM Noticias, 2023).

El fenómeno del fouling consiste en la acumulación de macro y microorganismos que viven en el ambiente marino y que afecta a las mallas de cultivo, generando una disminución de oxígeno en el ambiente de la jaula, incrementando la posibilidad de enfermedades y muerte para las especies cultivadas, debido a esto es imprescindible mantener limpias las jaulas. La acumulación de organismos no solo estresa y apuna a los peces, sino que también altera las condiciones del agua, como conductividad, salinidad y circulación, contribuyendo a la proliferación de bacterias. Por otro lado, en factores humanos también significa un problema, pues es dificultoso tener personal disponible las 24 horas del día viviendo en barcos container, alternativa que tampoco resulta viable para el futuro. Como se mencionó en el apartado, debido a problemáticas sanitarias, cada vez existen nuevas problemáticas para el sector acuícola, por ejemplo, las restricciones emitidas por Sernapesca que cada vez son más estrictas, llegando a la necesidad de controles periódicos y limpieza minuciosa, que puede ser realizada por ROVs pero dependiendo de la subjetividad del operador.

Ante esta necesidad de mejoramiento de las tecnologías de control de calidad del agua y bienestar de los peces, nace el proyecto FONDEF 2022, ID22I10091, liderado por los profesores Marcos Zúñiga y Mohamed Abdelhamid de la Universidad Técnica Federico Santa María. El proyecto propone el desarrollo de un sistema con la capacidad de recopilar datos precisos y a tiempo real. Dispositivo que debe estar integrado a un ROV de uso submarino, para realizar un mapeo detallado de las condiciones dentro de las jaulas de cultivo. La iniciativa responde a la necesidad crítica de la industria acuícola: mantener la calidad del agua en niveles óptimos, lo cual es crucial asegurar el bienestar de los peces y maximizar la producción, minimizando los riesgos medioambientales.

El sistema de monitoreo propuesto debe ser una alternativa eficiente y confiable, que permita a los operadores de las granjas de cultivo tener datos detallados y a tiempo real de las condiciones del agua en la que se encuentran los peces. Por medio de esta información se permitirá tomar decisiones proactivas para el mejoramiento del ambiente de cultivo, repercutiendo positivamente a la salud y crecimiento de los peces.

El desarrollo de este proyecto supone un reto multidisciplinario, demandando diversos campos, como la ingeniería de sensores, la robótica subacuática, la ciencia de datos y la acuicultura. Además, se requiere un grado de innovación que aporte a la tecnología de monitoreo ambiental, contribuyendo al desarrollo de una industria acuícola sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

1.1.2. Acercamiento a la solución

Al analizar soluciones actuales en sistemas de monitoreo de ambiente subacuático, se ha identificado la escasez de soluciones incorporadas a sistemas robóticos móviles. Predominan las investigaciones centradas en nodos estáticos (fixed sensors). Por ello es imprescindible un dispositivo móvil que cuente con la capacidad de mapear y monitorear las condiciones del agua, que por su movilidad pueda alcanzar zonas críticas que se encuentren fuera del acceso de los nodos estáticos, pudiendo identificar estas zonas de forma inmediata, alertando si las condiciones no son favorables, permitiendo una respuesta a tiempo real para garantizar el bienestar del ambiente de crianza.

Para satisfacer las necesidades del proyecto se desarrollará un prototipo móvil (ANEXO C), equipado con sensores de medición que se acople a un Vehículo Operado Remotamente (ROV). Se integrarán múltiples sensores al ROV que se encuentren expuestos al ambiente subacuático, siendo protegidos por una cámara especializada que permita la obtención de muestra del agua de manera inmediata y minimizando alteraciones a su estado natural.

Este proyecto se complementa con el trabajo del área telemática, donde se desarrollará un software que permita recopilar datos y mediciones en tiempo real, además de proporcionar un historial de datos. Aspectos que serán desarrollados en forma resumida, concentrándose en específico al diseño estructural de dispositivo.

El cliente proporciona un prototipo previo que se acerca a la solución del sistema, siendo esta una boya con sensores integrado, este prototipo existente presenta parte de las características móviles que se buscan en el proyecto, pero siendo incapaz de medir bajo el agua, dicho prototipo será mencionado en próximas secciones como base para realizar pruebas de sensores iniciales, siendo una herramienta esencial para la ejecución del proyecto. Guiando un enfoque integral que permitirá obtener un sistema de monitoreo completo y versátil que satisfaga las necesidades de seguimiento y control del ambiente subacuático.

Adicionalmente, el diseño del sistema contemplará la escalabilidad para poder integrar futuras expansiones, permitiendo su aplicación en diversos entornos acuícolas

adaptándose a la variedad de ambientes de cultivo. La interoperabilidad de plataformas de gestión de datos será una prioridad, además del modularidad del diseño, que permita integrarse sin problemas a las infra estructuras de monitoreo ambiental ya en uso. Mejorando la eficiencia de las operaciones actuales e incorporándose al camino de la innovación continua presente en la industria acuícola.

1.2. ESTADO DEL ARTE

En acuicultura, crianza de peces, es de vital importancia realizar monitoreos constantes a los peces y al medio ambiente en que estos se desarrollan. En tiempos tempranos de la industria se realizaban inspecciones por medio de buzos los cuales evaluaran el ambiente, naturalmente esta tarea tediosa fue implementando cámara para revisar el ambiente y debido a la complejidad de la tarea realizada por un buzo, optaron por alternativas de control remoto introduciendo así a la industria los sistemas de censado de datos y vehículos operados remotamente (ROV) (Ruthven, 2015).

1.2.1. Prototipo boya

Como antecedente propio del proyecto se cuenta con un diseño preliminar, el cual incluye un prototipo boya elemental dotado por una carcasa que protege de salpicaduras la electrónica interna, además de un sistema de flotador para el dispositivo. En cuanto al diseño, la carcasa se encuentra fabricada a base de una caja estanca con una salida para sensores en su parte superior, la salida de sensores se encuentra fabricada con tubos PVC, dispuestos para la salida de sensores al ambiente acuático, revisar Figura 1-1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-1. Foto carcasa de boya.

En el interior de dicha carcasa se encuentra situada la electrónica del dispositivo, parte crucial para el procesamiento y envío de datos, los componentes se encuentran dispuestos según muestra la Figura 1-2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-2. Foto circuito integrado en carcasa.

En lo respectivo al flotador, se presenta una base cuadrada de Polietileno de alta densidad (HDPE) que fija la carcasa a un flotador de forma toroidal, como se ve en la Figura 1-3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-3. Foto flotador para carcasa.

Es de suma importancia para acercarse a la solución el conocer las alternativas que se encuentran en el mercado, para así saber que tecnologías se utilizan y como se resuelven problemas similares con tecnologías disponibles en el mercado. En esta ocasión

se compararán dispositivos que posean como función la medición de pH, salinidad, oxígeno y temperatura. A continuación, la Tabla 1-1 con productos similares a la tecnología que se busca.

Tabla 1-1. Alternativas del mercado.

Nombre	Descripción	Referencia
SENSOR Aliexpress	Sensor móvil flotante, que mide: PH, HACER, ORPS, TDS, Salinidad, Turbidez, CE, Amonio, Nitrato, Cloro Residual, Temperatura.	(Aliexpress, s.f.)
Orbit 881 Multisensor	Sensor estático, que mide: Oxígeno, Temperatura, Profundidad, Corriente Marina.	(Scale Aquaculture AS, s.f.)
aquaMeasure SAL	Sensor estático, que mide: Salinidad, Temperatura, Inclinación, Memoria 64 MB de flash, Profundidad Hasta 100 metros.	(Innovasea, s.f.)
PROTEUS Multisensor	Es una alternativa que funciona a tiempo real, entregando diferentes parámetros de medición.	(RS Hydro, s.f.)
i3XO EcoMapper	Vehículo submarino con forma de torpedo con capacidad de realizar mediciones a tiempo real.	(YSI, s.f.)

Fuente: Elaboración propia.

Como se pudo observar en la Tabla 1-1, la naturaleza de los dispositivos mencionados se centra en la medición de los parámetros del agua entregando información de zonas en las que los sensores se mantienen fijos, por ejemplo el dispositivo Orbit 881 Multisensor cuenta con la capacidad de realizar mediciones a tiempo real de diferentes parámetros, pero al estar estático no se logra medir en la totalidad la jaula de salmones habiendo zona en las que desconocen las condiciones.

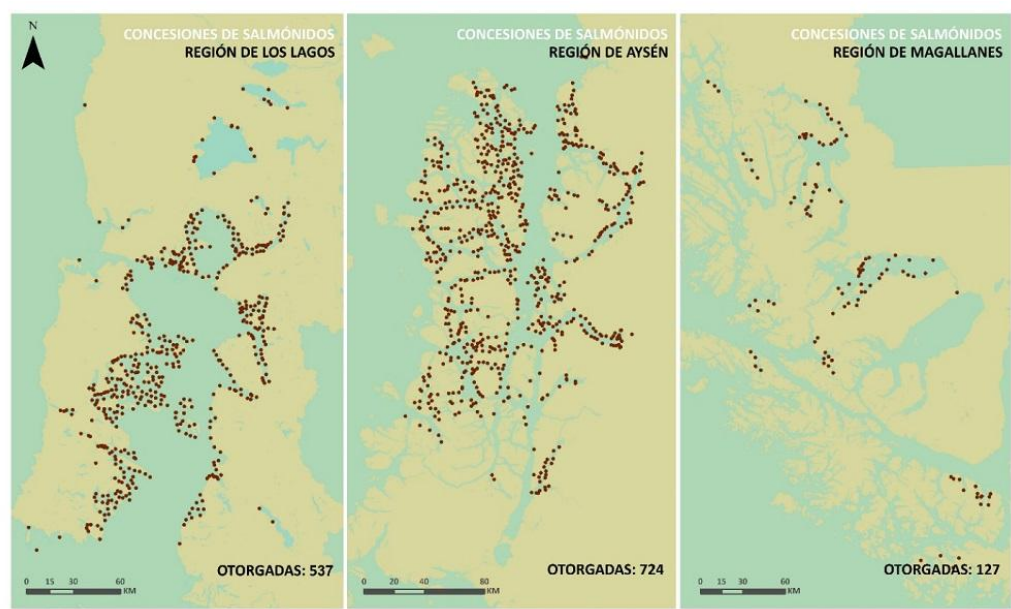
Para asegurar la innovación en el proyecto se necesita conocer las tecnologías presentes en investigaciones relevantes. A continuación, la Tabla 1-2. Investigaciones relacionadas muestra documentos investigativos relevantes.

Tabla 1-2. Investigaciones relacionadas.

Nombre	Descripción	Referencia
An integrated ROV solution for underwater net-cage inspection in fish farms using computer vision	Sistema de medición subacuática utilizando visión por computadora para la inspección de jaulas en piscifactorías.	(Betancourt, Coral, & Colorado, 2020)
Development of Autonomous Underwater Vehicle for Water Quality Measurement Application	Vehículo autónomo para la medición de la calidad del agua	(Amran, y otros, 2020)
Preliminary Engineering Implementation on Multisensory Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV) for Oil Spills Surveillance	Implementación preliminar de un vehículo operado remotamente multisensorial para la vigilancia de derrames de petróleo	(Qasem, y otros, 2019)
Wireless sensor network development in unmanned aerial vehicle (uav) for water quality monitoring system	Desarrollo de una red de sensores inalámbricos en un vehículo aéreo no tripulado para el monitoreo de la calidad del agua	(Etikasari, Husin, Kautsar, Riskiawan, & Setyohadi, 2020)
Development of a low cost remotely operated vehicle for monitoring underwater marine environment	Vehículo operado remotamente de bajo costo para el monitoreo del entorno marino subacuático	(Gawas, y otros, 2020)
Innovative Water Quality and Ecology Monitoring Using Underwater Unmanned Vehicles: Field Applications, Challenges and Feedback from Water Managers	Monitoreo innovador de calidad del agua y ecología utilizando vehículos submarinos no tripulados	(Pedroso de Lima, Boogard, & de Graaf-van Dinther, 2020)
An Underwater Vehicle Monitoring System and Its Sensors	Sistema de monitoreo de vehículos submarinos y sus sensores	(Choi & Easterday, 2000)

1.3. COMPRENSIÓN DEL MERCADO

Limitándose a un universo de centro de cultivos de salmones y truchas en Chile, en el año 2020, entre las regiones de los lagos, Aysén y Magallanes se registraron un total de 1.388 salmoneras concesionadas como muestra la Figura 1-4. Demostrando que la salmonicultura se ha consolidado como una de las actividades económicas más importantes y rentables de nuestro país (Fundación Terram, 2020), siendo el área acuícola un mercado prometedor para el cual desarrollar nuevos e innovadores productos.



Fuente: (Fundación Terram, 2020)

Figura 1-4. Concesiones salmoneras en el año 2020.

Para integrar este nuevo producto en este mercado se realizó un en modelo de negocios por medio del método Lean Canvas. En este análisis se plantean los posibles clientes iniciales que tendrá el proyecto, propuesta de valor, canales de promoción, costos e ingresos esperados, entre otros. La matriz Lean Canvas confeccionada se muestra en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3. Lienzo Lean Canvas

PROBLEMA - Restricciones sanitarias estrictas. - Enfermedades en peces. - Zonas fuera de cobertura de sensores fijos. - Proliferación de bacterias. Alternativas: ROV, sensores fijos.	SOLUCIÓN Capsula acoplable móvil sumergible que permite el censado de parámetros del agua, que envía información a una base de datos que se visualiza a tiempo real. MÉTRICAS CLAVE - Exactitud de en la toma de muestras. - Tiempo de vida de la capsula.	PROPUESTA DE VALOR ÚNICA Un sistema que aumenta la producción y calidad de vida de peces por medio tecnologías avanzadas de medición, con las capacidades de movilidad y funcionamiento a tiempo real.	VENTAJA ESPECIAL Sistema de censado móvil. CANALES - Ferias de innovación y tecnología(Ej: Agua Sur). - Afiliados. - Referencias y recomendaciones.	SEGMENTOS DE CLIENTES - Granjas salmoneras. - Organizaciones proveedoras de servicios tecnológicos. - Organismos fiscalizadores.
ESTRUCTURA DE COSTOS - Sueldos colaboradores. - Desarrollo de aplicación para control. - Servicios de nube y bases de datos. - Planta para desarrollar y fabricar. - Insumos y materias primas.		FLUJO DE INGRESOS - Suscripciones a servicios entregados. - Capacitaciones. - Ventas del producto. - Arriendo de equipos. - Servicios de mantención.		

Fuente: Elaboración propia.

1.3.1. Usuario y cliente objetivo

Es de suma importancia aclarar que para este producto lo que es usuario y cliente no se definen como una misma entidad, ya que la persona u organización se diferencia del usuario que llevara a cabo la aplicación y operación del dispositivo. A continuación, se definen cliente y usuario respectivamente:

Cliente: se define como cliente objetivo a las organizaciones de crianza de salmones, organizaciones proveedoras de servicios tecnológicos, organismos fiscalizadores, etc. Esta información se presenta en la Tabla 1-3. Lienzo Lean Canvas.

Usuario: Se define como usuario objetivo a aquellos operarios del área de monitorización de medio ambiente que se encuentren en terreno, para el dispositivo capsula, además se define como usuario también a los operarios que se encuentran en salas de control fuera del centro o lejos de jaulas, encargados de visualizar e interpretar los datos censados. Importante destacar que esta definición de usuario es respecto a el uso del dispositivo

1.4. **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Para realizar un diseño capaz de satisfacer las necesidades de funcionamiento subacuático y a tiempo real, es crucial tener un análisis completo del ambiente de funcionamiento y nociones de usabilidad. Para esto se definirán los objetivos para abordar la problemática y posteriormente los requisitos para lograr el diseño de dicho sistema.

1.4.1. **Objetivo general**

Diseñar un sistema de monitoreo de calidad del agua para jaulas de salmones usando un robot subacuático.

1.4.2. **Objetivos específicos**

- **Recopilar información previa al proyecto:** se realiza una recopilación de datos disponibles del proyecto, además se reactiva el prototipo boya y se evalúa el uso de tecnologías presentes en este.
- **Definir una carcasa estructural para el funcionamiento submarino:** se realizará un diagrama preliminar de una carcasa para el dispositivo, tomando en consideración elementos relevantes, metodología y recursos.
- **Manufacturar un prototipo de la carcasa:** se materializa lo previamente diseñado en forma de un prototipo.
- **Comprobar carcasa estructural con electrónica del dispositivo:** se incorporan los sensores y microcontroladores al diseño de la carcasa de uso subacuático.

1.5. **REQUISITOS DE DISEÑO**

Para abordar el diseño del dispositivo, es de gran importancia tener en consideración los requisitos funcionales y no funcionales que rigen como se debe diseñar el dispositivo, considerando el ambiente en el que se utilizara, como se utilizara, que

condiciones debe resistir entre otros. A continuación, se presentarán los requisitos específicos que se deben cumplir:

1.5.1. Requisitos funcionales

Se define como requisito funcional a todo aquel respectivo a la usabilidad del producto en cuestión, considerando interacciones con usuario. Los requisitos funcionales se muestran a continuación:

- El sistema eléctrico debe contar con una carcasa a prueba de agua.
- El sistema debe contar con un ensamblado simplificado, para revisiones in situ.
- El sistema se debe acoplar a un ROV y funcionar en simultaneo con este.
- El sistema debe poder controlarse de manera remota permitiendo visualizar datos a tiempo real.

1.5.2. Requisitos no funcionales

Se define como requisitos no funcionales a aquellos que contemplan las interacciones del dispositivo con el entorno y consigo mismo, considerando aspectos estructurales y de materialidad. Los requisitos no funcionales se muestran a continuación:

- El sistema debe resistir las condiciones del agua marina del sur de Chile.
- El sistema debe resistir impactos menores realizados por los peces en la jaula.
- El sistema debe ser capaz de disipar el calor producido por los microcontroladores.

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE INGENIERÍA

2. DISEÑO DE INGENIERÍA

Se da inicio al desarrollo de objetivos definidos en el proyecto, donde por medio de la metodología Design Thinking se realizará el diseño que satisfaga la problemática, siguiendo los requisitos de diseño establecidos.

2.1. ALCANCES DE DISEÑO

Se establece como alcances del proyecto a toda aquella actividad correspondiente al cumplimiento de los objetivos dentro del tiempo establecido en la carta Gantt (ANEXO A) del proyecto. En específico para este trabajo de título se espera lograr el diseño a detalle del sistema de carcasa estructural hermética que proteja sensores y microcontroladores del dispositivo, permitiéndole funcionar de manera continua en un entorno subacuático, realizando mediciones de pH, Oxígeno disuelto, salinidad y temperatura del agua, y entregando datos a tiempo real. Posterior a la definición del diseño detalle se realizará la fabricación del prototipo funcional del sistema, el cual será probado de manera preliminar en un ambiente controlado. Definiendo que el sistema diseñado al finalizar este trabajo de título se encontrará aún en la etapa de prototipado y pruebas preliminares.

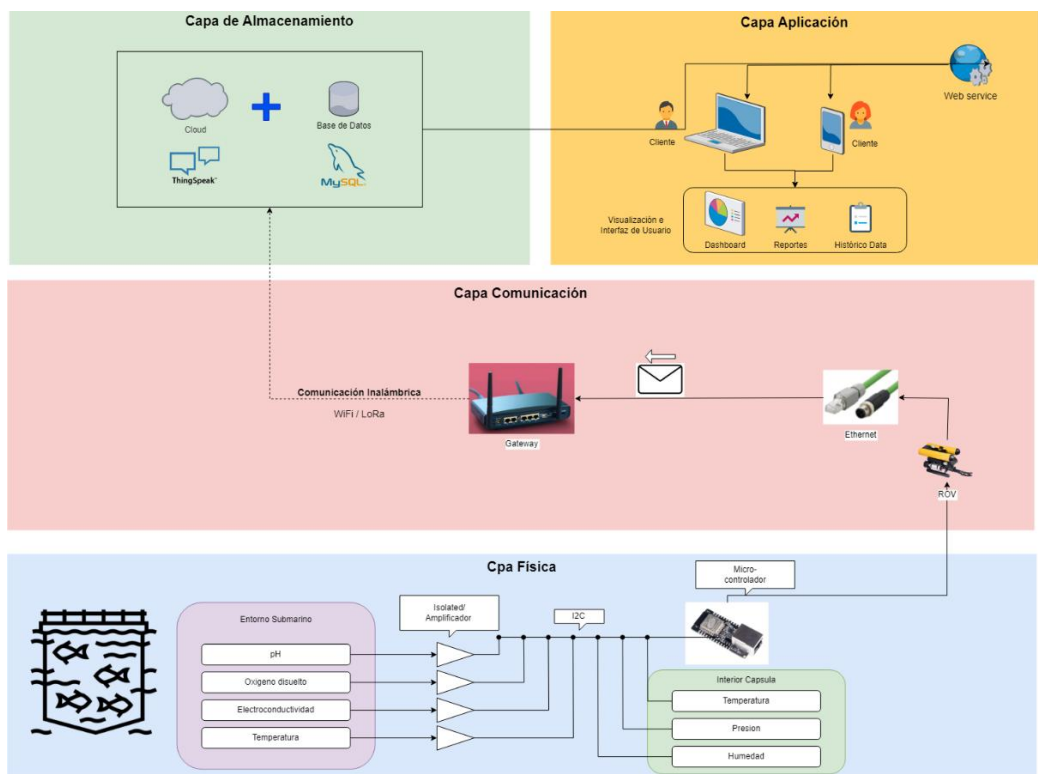
2.2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Para lograr dichos objetivos el equipo multidisciplinario trabajó de manera colaborativa en el diseño del dispositivo, dividiendo el proyecto en distintas capas de desarrollo:

- Capa física, corresponde a los componentes físicos del sistema que interactúan en el entorno de uso del dispositivo.
- Capa de adquisición de datos, se refiere al hardware que se necesita para recolección de datos, sensores de medición, y los microcontroladores encargados de procesar los datos obtenidos.
- Capa de comunicación, corresponde las tecnologías utilizadas para la comunicación del sistema por ejemplo LoRa, Bluetooth, WiFi, etc.

- Capa de almacenamiento, representa las tecnologías que se utilizaran para la importante labor de guardar los datos en espacios seguros, como nubes de datos, bases de datos, etc.
- Capa de aplicación, respectiva a la visualización de datas, por medio de un dashboard para realizar el monitoreo de los datos censados a tiempo real.

A continuación, se muestra la Figura 2-1 que ilustra de manera grafica la arquitectura del sistema.



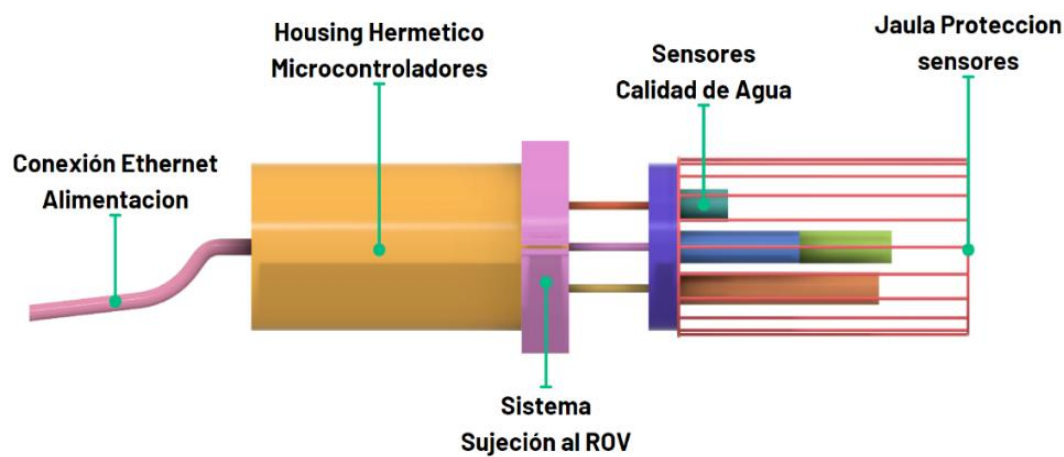
Fuente: (Creación de un sistema de monitoreo de calidad del agua y entorno subacuático en tiempo real) (Cabrera, López, Urra, & Álvarez, 2024)

Figura 2-1. Arquitectura del sistema.

Es de gran importancia destacar que en el presente trabajo de título se ilustrará lo respectivo al desarrollo de la capa física, considerando el hardware definido en la capa de adquisición de datos, en específico las medidas de dichos componentes.

2.3. **DEFINICIÓN DEL PRODUCTO A DESARROLLAR**

El producto definido para este trabajo consiste en una capsula cilíndrica resistente a las condiciones subacuáticas de las jaulas de salmones, donde en el interior de esta capsula se encuentran los microcontroladores encargados de procesar la información censada y enviar dichos a centros de control de las salmoneras. En su exterior el dispositivo cuenta con conexión a un cable ethernet en su extremo posterior y en su extremo frontal lleva una estructura en la que se soportan los sensores de medición. A continuación, se muestra una maqueta de lo antes mencionado en la Figura 2-2.

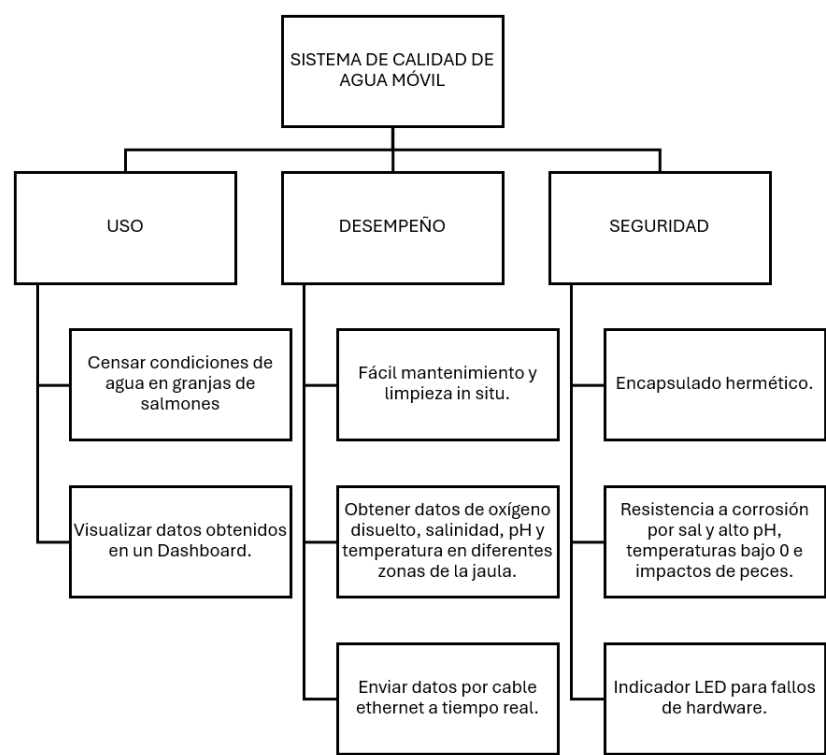


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-2. Distribución de componentes dispositivo monitoreo submarino.

2.3.1. **Diagrama de funciones**

De manera preliminar en el diseño se definieron las funciones que podría desarrollar el dispositivo, esto se realizó para tener claridad de lo que abarca el diseño funcional del sistema, definiendo así sus funciones principales de uso desempeño y seguridad. Para esto se confecciono un diagrama de funciones, ilustrado en la Figura 2-3.

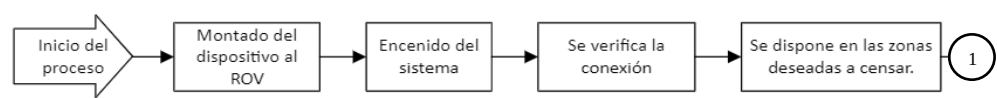


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-3. Diagrama de funciones sistema de calidad de agua móvil.

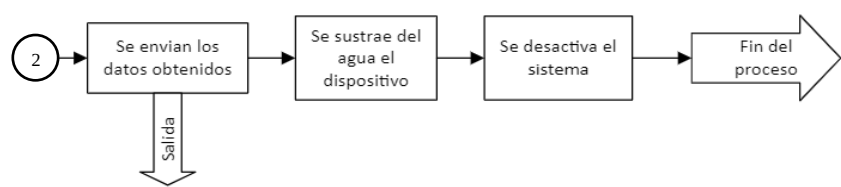
2.3.2. Diagrama de proceso de uso del producto

En esta sección se define la manera de uso el dispositivo, donde se define que será usado por un operario de ROV en terreno (Granja de cultivo de salmones), iniciando el proceso con el montaje de la capsula de monitoreo al ROV, se procede a encender el sistema y verificar que no existan irregularidades en las conexiones(Sensores y envío de datos), con el dispositivo montado y conectado a la red se procede a disponer el ROV junto con la capsula en las zonas que se desea obtener datos medioambientales, al momento de encender el dispositivo este iniciara la medición por lo que las salidas de información deben ser verificadas como validas por el operador, una vez realizadas definidas por el operario se puede sustraer el sistema del entorno subacuático y se completa el proceso de uso con la desactivación y guardado del dispositivo. El proceso mencionado se encuentra ilustrado en la Figura 2-4 y Figura 2-5.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-4. Diagrama proceso de uso sistema de monitoreo móvil (1).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-5. Diagrama proceso de uso sistema de monitoreo móvil (2).

2.3.3. Fabricación preliminar

Previo al desarrollo de alternativas morfológicas, el equipo de desarrollo del proyecto decidió consultar con Aquarov que materiales y componentes utilizan para la fabricación de sus vehículos. De esta forma, se organizó una reunión con Eduardo García ingeniero parte del área de manufactura de Aquarov. En dicha reunión realizada el 24 de mayo de 2024 (ANEXO B), se obtuvo que los vehículos de Aquarov son fabricados con componentes en su mayoría plásticos resistentes a las condiciones del entorno submarino entre estos se nombró Polioximetileno (POM) y Polietileno de alta densidad (HDPE), además se comentó que las capsulas de sus vehículos son fabricadas BlueRobotics una empresa internacional dedicada a la venta de componentes para fabricación de vehículos subacuáticos, donde sus capsulas son fabricadas en materiales variados como acrílico, aluminio, fibra de carbono, entre otros.

Al haber realizado dicha entrevista, se decidió por utilizar en su mayoría componentes manufacturados por BlueRobotics, se definió el uso de estos componentes debido a que de esta manera se asegura la hermeticidad del sistema, ya que son

componentes probados con anterioridad. Respectivo a esto se realizó una investigación de componentes que cumplieran con los requisitos planteados en la sección Requisitos de diseño.

A continuación, se muestra la tabla de propuesta de componentes a ser adquiridos desde BlueRobotics en la cual se calcula un coste aproximado de los componentes que equivale a 403 USD, revisar la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Componentes por adquirir en BlueRobotics.

Imagen	Nombre	Descripción	Dirección web	Precio total (USD)
	Watertight Enclosure End Caps, Domes, and Flange Caps	Tapas de aluminio anodizado negro, disponibles con perforaciones para cables.	(BlueRobotics, s.f.)	\$64.00
	Watertight Enclosure Tubes	Tubos acrílicos transparentes para encapsular elementos electrónicos ranurados para o-rings.	(BlueRobotics, s.f.)	\$170.00
	O-Ring Flanges	Flanges embutidas con o-rings para hermeticidad, también permiten conectar tapas y bandejas.	(BlueRobotics, s.f.)	\$90.00
	WetLink Penetrator Blank (No Hole)	Tapa para perforaciones de pasacables.	(BlueRobotics, s.f.)	\$30.00
	Potted Cable Penetrator	Pasa cables herméticos con diámetro externo M10 y diámetro interno para cables 3-4mm de diámetro.	(BlueRobotics, s.f.)	\$15.00
	M10 Enclosure Vent and Plug	Esta ventila permite mantener el sistema unido frente los cambios de presión interna.	(BlueRobotics, s.f.)	\$10.00
	WetLink Penetrator	Pasacables hermético con diámetro externo M10, para usarse en cables de sensores.	(BlueRobotics, s.f.)	\$24.00

Fuente: Elaboración propia.

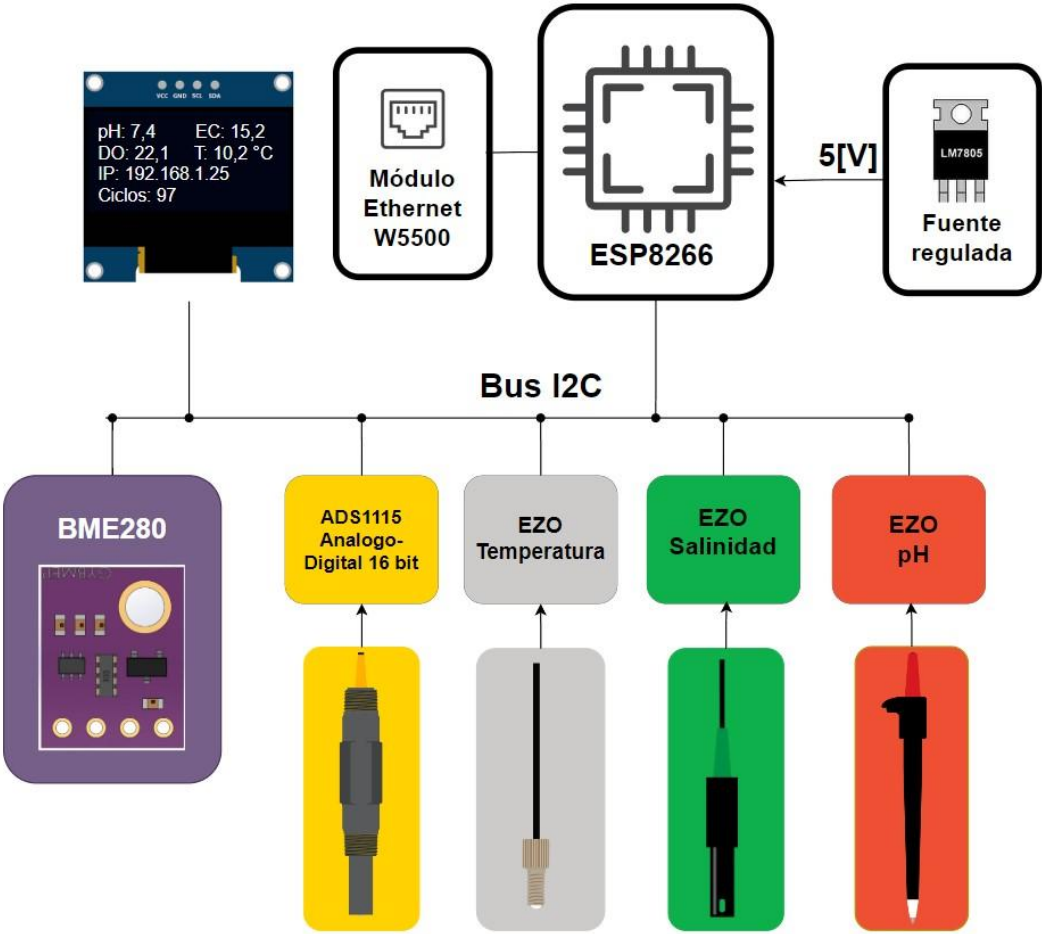
Con los componentes definidos a comprar se procedió a definir los materiales en que se fabricaran las piezas a diseñar. Donde el equipo definió que, debido a la naturaleza del trabajo, se utilizará en su mayoría el proceso de impresión 3D de filamento de PLA (ácido polilactico), pudiendo así disponer de las instalaciones y material de la Universidad Técnica Federico Santa María, para fabricar dichas piezas dentro acotado tiempo del proyecto. Si bien, para la fabricación del prototipo del dispositivo no es vital un material de alta resistencia a la humedad y corrosión, es de suma importancia destacar que el PLA no se recomienda como el material indicado para aplicación en terreno del dispositivo en tiempos prolongados. Como se muestra en la Tabla 2-2, el HDPE (Polietileno de Alta Densidad) y PP (Polipropileno) son las alternativas más viables para fabricación de piezas expuestas al entorno marino, presentando resistencia a la corrosión y a temperaturas extremas.

Tabla 2-2. Comparativas propiedades de materiales de fabricación.

Propiedad	HDPE (Polietileno de Alta Densidad)	POM (Polioximetile no)	PP (Polipropileno)	PLA (Ácido Poliláctico)
Densidad (g/cm3)	0.94 - 0.97	1.41 - 1.43	0.90 - 0.91	1.24 - 1.25
Temperatura de fusión (°C)	130 - 137	162 - 175	160 -170	150 -160
Resistencia a bajas temperaturas (°C)	Hasta -50	Hasta -40	Hasta -40	Hasta 0
Resistencia a altas temperaturas (°C)	Hasta 80 (corto plazo)	Hasta 93	Hasta 165	Hasta 65
Resistencia a la tracción (MPa)	20 - 37	60-70	25 -40	50-70
Resistencia al impacto	Alta	Media	Alta	Baja
Resistencia al agua salada	Alta	Media	Alta	Baja
Resistencia a la corrosión	Alta	Alta	Alta	Baja
Biodegradabilidad	No	No	No	Sí

Fuente: Elaboración propia con información recopilada de Matmake.com.

Junto a la definición de componentes y materiales el equipo multidisciplinario, en específico telemáticos, definió los sensores que se utilizarán en el dispositivo, donde se requiere medir oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura en el agua de las jaulas de crianza de salmones, define también el uso de un módulo BME280 que permite monitorear las condiciones dentro de la cápsula, junto con estos se utilizará un módulo Arduino ESP8266, por último se definió una pantalla que acompaña a los microcontroladores dentro de la capsula, la cual ayude a mostrar alertas de mal funcionamiento o condiciones riesgosas para los componentes en el interior de la capsula. Esto se muestra en la Figura 2-6 se muestran los componentes del circuito planteado, los cuales serán adquiridos en la tienda AtlasScientific, donde además se disponen modelos 3D, que serán utilizados para el diseño preliminar del dispositivo.



Fuente: (Creación de un sistema de monitoreo de calidad del agua y entorno subacuático en tiempo real) (Cabrera, López, Urra, & Álvarez, 2024)

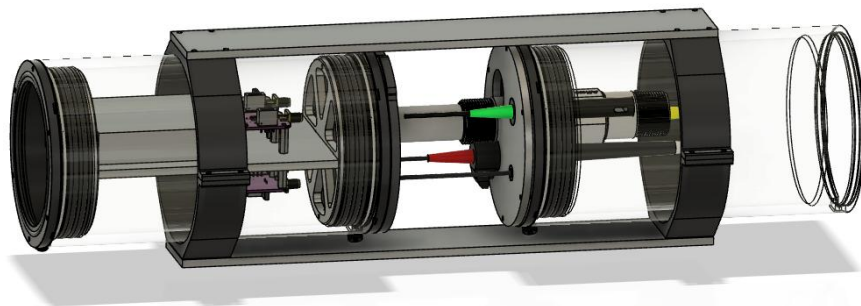
Figura 2-6. Diagrama componentes de circuito.

2.4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS MORFOLÓGICAS

Para comenzar el diseño detalle del dispositivo se dispuso a generar diferentes alternativas, la cuales fueron revisadas por los profesores responsables, como se muestra en la Figura 2-2, se comenzó por definir el producto y la forma que correspondiente del dispositivo.

Para la confección de las alternativas de diseño, se utilizan los componentes definidos anteriormente en la Tabla 2-1 y materiales definidos en la sección 2.3.3, además de algunos componentes descartados en el proceso de diseño que no se encuentran en dicha tabla. Dichos componentes, disponen de modelos 3D que fueron utilizados para la confección y análisis de las alternativas. A continuación, se procede a analizar las alternativas de diseño.

Alternativa 1: En este concepto de diseño se definió el uso de dos capsulas de acrílico separadas, donde en la primera se sitúan los microcontroladores herméticamente protegidos, en cuanto a la segunda capsula se disponen los sensores de medición ubicados en una placa mecanizada para ajustarse a sus diámetros. Ambas capsulas conectadas por medio de pletinas unidas a abrazaderas de aluminio (de BlueRobotics). Este diseño se descartó debido a la poca factibilidad de la unión definida y a lo riesgoso que es tener los cables de los sensores expuestos. Lo descrito se ilustra en la Figura 2-7.

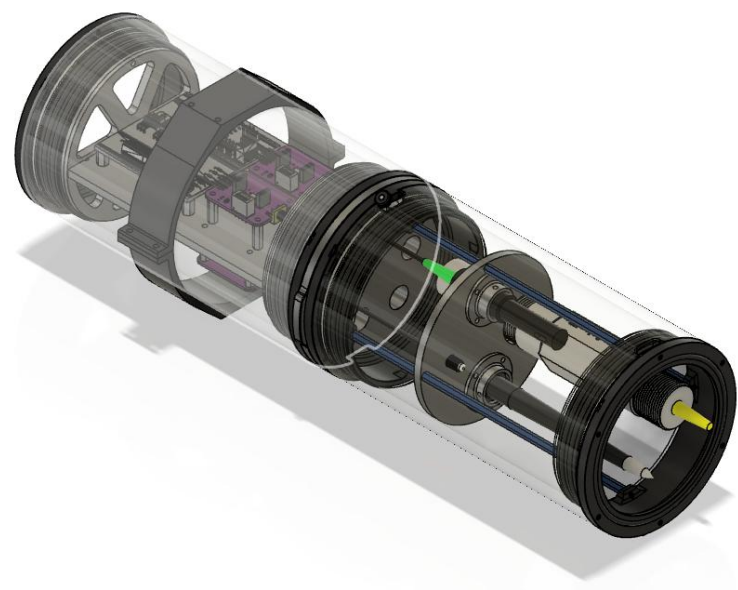


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-7. Alternativa 1, sistema de dos tubos de unidos por placas.

Alternativa 2: Para esta alternativa se siguió el mismo concepto descrito en la alternativa anterior, simplificando las uniones de los tubos acrílicos, se define una unión directa entre ambas tapas de aluminio, de esta forma se resguardarían los cables de los

sensores el tubo acrílico evitando uniones complejas. Esta alternativa fue descartada debido a que el sistema de tubo abierto solo en su cara frontal evita que el flujo de agua que pasa por los sensores sea continuo, aumentando el fallo en la medición. Lo descrito se ilustra en la Figura 2-8.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-8. Alternativa 2, sistema de dos tubos unidos en la tapa de aluminio.

Alternativa 3: esta alternativa se definió buscando optimizar los conceptos sistema de jaula de protección anteriores, para esto se propone conjunto de jaula de tres partes donde su soporte se une a la capsula por medio de pernos de apriete en la tapa de aluminio de la capsula, a esta pieza va sujeta la placa de soporte para los sensores donde muescas y un hilo mecánico que une el soporte y la jaula solidarizando todo el sistema, por último la jaula es una estructura cilíndrica perforada que logra completa inundación y correcto flujo del agua, cumpliendo además su función principal de proteger los sensores. Esta alternativa fue aprobada por el equipo, pues resuelve la estructura de mejor manera, propone un sistema de armado simple en comparación con las otras alternativas y significa un costo de prototipado menor pues como se mencionó en la sección 2.3.3 se dispone del proceso de impresión 3D en PLA de la universidad, a diferencia de las otras alternativas que utilizan componentes tales como el tubo acrílico de Bluerobotics el cual significaría 170 dólares extras a el coste de fabricación del prototipo. Lo descrito se ve en la Figura 2-9.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-9. Alternativa 3, sistema de jaula completamente inundable.

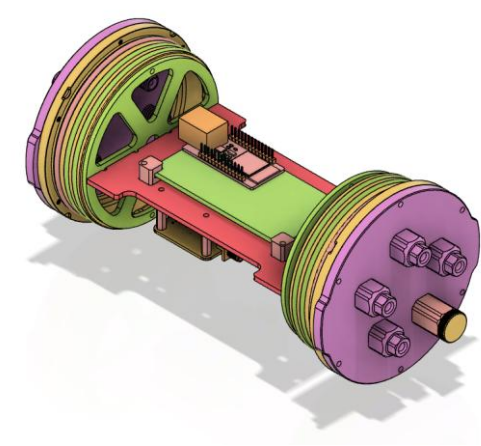
Con la alternativa 3 se da fin al desarrollo de alternativas morfológicas, debido a que este concepto desarrollado logra satisfacer en gran medida lo solicitado por los profesores guías, siendo un sistema con pocos componentes que protege los sensores y no se interpone con las mediciones. De este modo se da paso al desarrollo de partes y componentes, para su posterior confección de las planimetrías necesarias para la fabricación de las piezas diseñadas.

2.5. DESARROLLO DE PIEZAS Y DEFINICIÓN DE MATERIALES

Habiendo definido los componentes y partes que serán adquiridas desde terceros, se procede a realizar el desarrollo de componentes y partes que serán fabricados para la realización del prototipo dicho dispositivo. Para realizar el desarrollo de las partes se dividió el sistema cinco secciones, como se ve en la Figura 2-2, las que procede a describir y analizar por medio de maquetas virtuales confeccionadas en el software Autodesk Fusion 360 con licencia de uso educacional para estudiantes, dichas alternativas se muestran a continuación.

Housing hermético y microcontroladores: Esta sección se compone por los componentes de BlueRobotics tubo acrílico translucido, tapas con o-ring, tapas perforadas y pasacables de uso subacuático, además de los microcontroladores ESP8266 con módulo ethernet, módulo BME280, junto con todo lo respectivo al circuito del sistema. Para estos

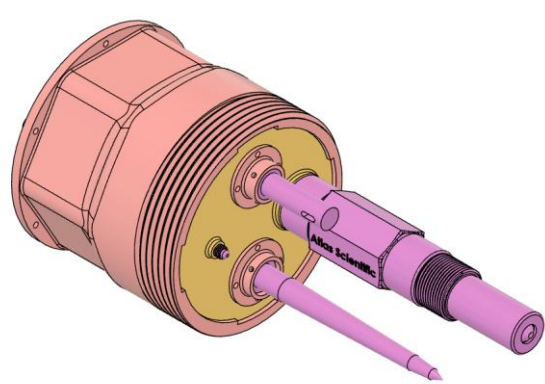
componentes se diseñó un sistema bandeja para soportar los microcontroladores, se planteó este sistema fabricado por medio de corte CNC en una plancha de Polipropileno industrial (PP) de 3 mm de espesor, en la Figura 2-10 se muestra la maqueta virtual de lo descrito y en el Anexo 3 se muestra el plano de la bandeja para controladores.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-10. Maqueta virtual Housing y microcontroladores.

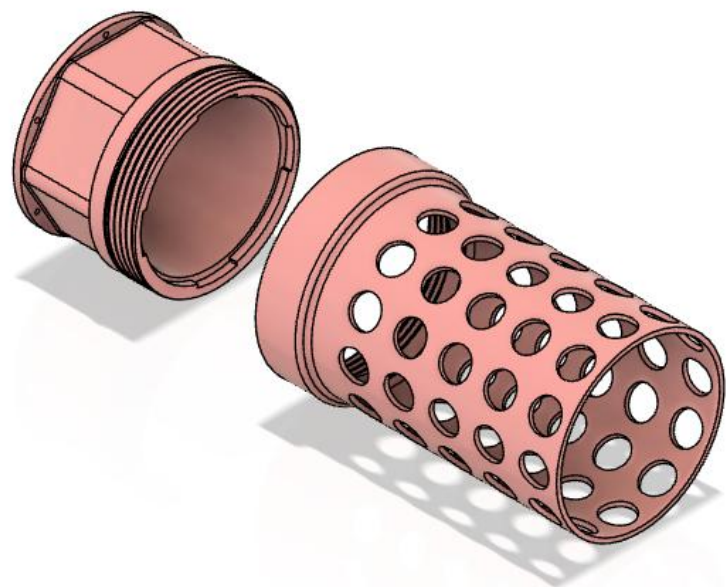
Sensores de calidad de agua: se procede a definir el sistema de soporte para los sensores, donde se distribuyen los sensores definidos en la Figura 2-6, en una pieza con perforaciones para cada sensor con sus respectivos diámetros y los sensores se fijan a la placa por medio de sus geometrías y si corresponde con hilo de ajuste en el caso del sensor de Oxígeno disuelto, esta placa va fija en soporte de jaula, estos sensores se conectan a la capsula por medio de los pasacables adquiridos en BlueRobotics, ver Tabla 2-1, los planos de los componentes diseñados se muestran en el Anexo 3, además en la Figura 2-11.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-11. Maqueta virtual soporte sensores.

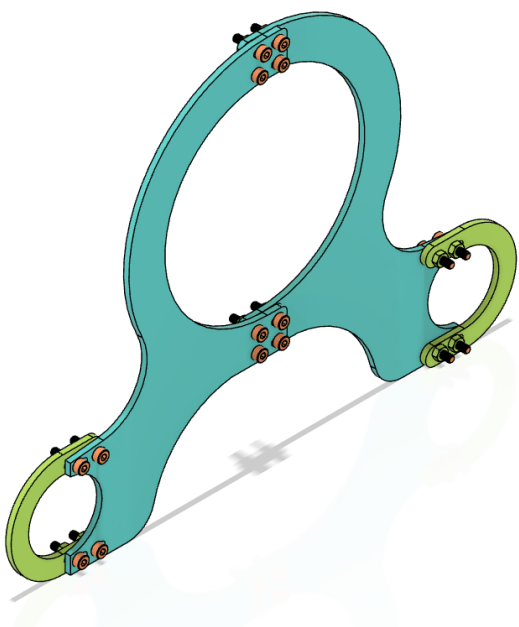
Sistema de protección de sensores: para lograr este sistema se diseñaron dos piezas que corresponden al mencionado anteriormente soporte de jaula, el cual consiste en una estructura cilíndrica por su interior que en su parte posterior cuenta con perforaciones para para fijarse a las tapas de la capsula, y por su parte frontal cuenta con una ranura para la placa de soporte de sensores y un hilo mecánico, como se muestra en la Figura 2-11, por medio de este sistema de unión se fija la jaula de protección de sensores al soporte, dicha jaula consiste en una estructura cilíndrica que en su parte posterior cuenta con un hilo de unión y en el resto de su cuerpo cuenta con una matriz de perforaciones que permiten el paso del agua regularmente a los sensores de medición, las dimensiones de dicho sistema se enseñan en el Anexo 3, y la maqueta virtual se enseña en la Figura 2-12.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-12. Maqueta virtual sistema de protección de sensores.

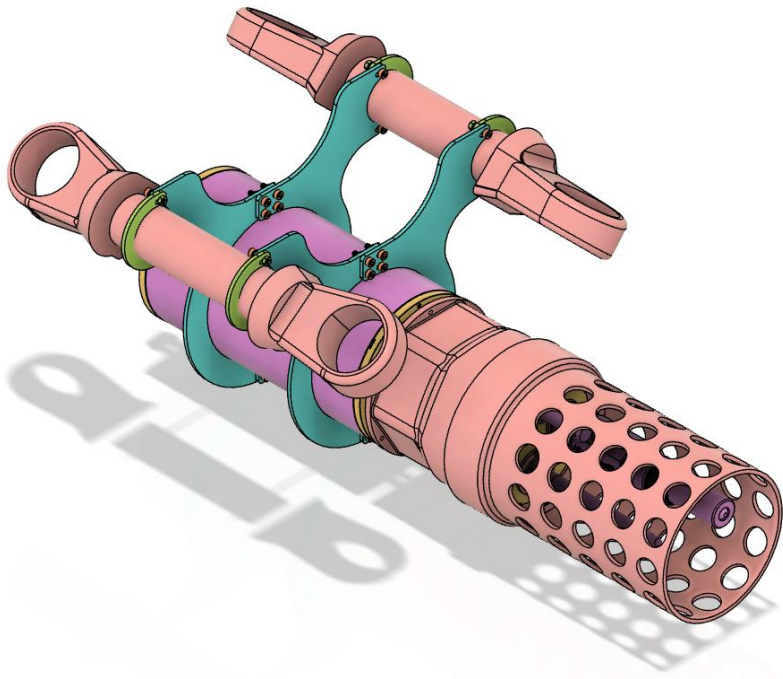
Sistema de unión al ROV: para el sistema que fija el dispositivo al vehículo, se diseñó un conjunto de abrazaderas que se unen por medio de pernos, estas presentan una forma que envuelve la capsula cilíndrica por su perímetro ubicándola de manera que la jaula de sensores no se interponga en el flujo de agua irregular de las turbinas del ROV. Se plantea este sistema fabricado en PP industrial y mecanizado en un plancha de 3mm de este material por medio de tecnología CNC, los planos se muestran en el (ANEXO C) y la maqueta virtual del componente se ve en la Figura 2-13.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-13. Maqueta virtual sistema de sujeción al ROV.

Como se mencionó el sistema va sujeto del ROV por medio de las abrazaderas, en específico en los tubos que conectan sus turbinas para movimiento, a continuación, se muestra la Figura 2-14 la forma en la que se unen las abrazaderas a los tubos ubicados en el ROV.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-14. Maqueta virtual sistema unido por abrazaderas.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo se orienta en mostrar la fabricación del prototipo funcional desarrollado, mostrando los métodos de fabricación utilizados en las piezas diseñadas, también revisando los insumos utilizados para realizar el sellado de las piezas que no son herméticas, recomendado por los fabricantes. Con el prototipo concretado, se pasa a la etapa de pruebas donde se dispone el dispositivo en un entorno controlado, definido como la piscina de la Casa Central de la Universidad Federico Santa María, realizando los análisis correspondientes a dichas pruebas. Finalizando con las conclusiones y recomendaciones correspondientes al desarrollo del proyecto.

3.1.1. Prototipo desarrollado

Previo a las pruebas se realiza un análisis del prototipo que fue desarrollado. Donde el dispositivo se fabricó con componentes de la marca BlueRobotics, como se mencionó en la sección 2.3.3. Además de componentes de diseño propio, los cuales en esta instancia preliminar fueron fabricados en impresión 3D de polímero PLA para el sistema de jaula de sensores y soportes para componentes electrónicos, y para la bandeja de microcontroladores se fabricó por medio de mecanizado de router CNC en una plancha de 3mm de espesor de Polipropileno de uso industrial. Los procesos de fabricación se ilustran en la Figura 3-1 y la Figura 3-2 respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-1. Mecanizado CNC de plancha de PP industrial.

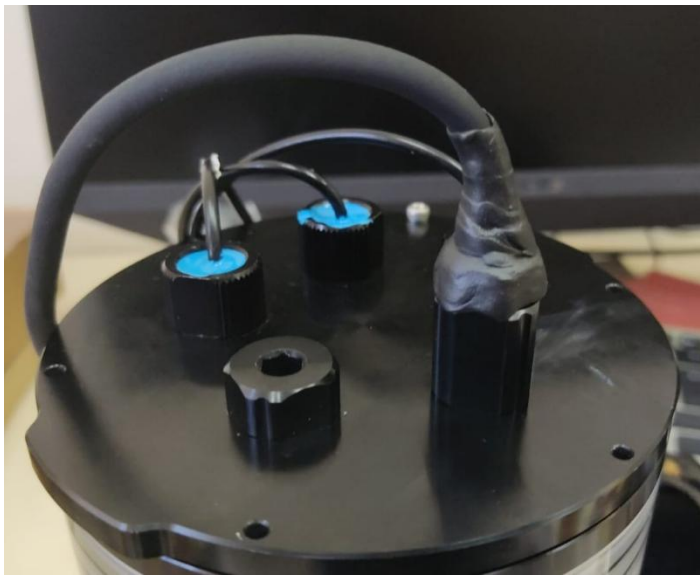


Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-2. Fabricación piezas impresas en 3D con PLA.

Realizados los procesos mencionados de fabricación se obtuvieron como resultado las piezas de jaula, soporte de sensores, soporte de jaula, flanges de sensores, soportes para pantalla, soporte de placa, soporte de ventilador, por medio de impresión 3D en PLA. En cuanto a los componentes fabricados en router CNC se obtuvo la bandeja para los microcontroladores y las abrazaderas para unión a ROV.

Con todos los componentes del dispositivo a disposición, se comenzó con el armado del prototipo, donde al haber ensamblado el sistema se procedió al sellado de los conectores por medio del pegamento Fusion Epoxy Liquido para uso submarino, sellando los pasacables correspondientes a los conectores de los sensores de pH, temperatura, salinidad y conexión ethernet. Como muestra la Figura 3-3.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3. Sellado de pasacables Pegamento Fusion Epoxy.

Por siguiente al sellado de los pasacables, se realizó el sellado de las conexiones externas de conectores SMA de los sensores de pH, temperatura y salinidad. Este sellado se llevó a cabo con uso de la cinta moldeable de uso subacuático Coax Seal. En la Figura 3-4 se muestra el resultado del sellado de las conexiones SMA.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-4. Sellado conexiones SMA con cinta Coax Seal.

Por último, se procedió al ensamble de las partes del dispositivo, que se analiza más adelante en el trabajo, obteniendo el conjunto del dispositivo armado sin las abrazaderas de unión al ROV como se muestra en la Figura 3-5.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-5. Prototipo sistema de medición de calidad de agua en tiempo real.

3.2. **DEFINICIÓN DE PRUEBAS Y CRITERIOS A EVALUAR**

Para evaluar el funcionamiento del prototipo fabricado, primer se definió que las pruebas se realizarían con la finalidad de asegurar que el sistema hermético funcionase y permitiera realizar mediciones de los parámetros solicitados, con este fin se definieron las pruebas que se realizarían en esta primera instancia, siendo pruebas preliminares ya que el dispositivo aún debe ser probado en un ambiente realista. Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

3.2.1. **Prueba 1: Armado del dispositivo**

Se establece una prueba para analizar el armado del dispositivo, y así identificar mejoras en el diseño estructural del dispositivo. Evaluando si el armado del dispositivo es complejo y si existen piezas que dificulten su armado. Además de establecer de qué forma se puede rediseñar dichas piezas o sistema.

3.2.2. Prueba 2: Aseguramiento de sistema hermético

Esta prueba se realizó con la finalidad de probar la hermeticidad del sistema armado, para esto se prescindió de los microcontroladores y se dispuso dentro de la capsula papel absorbente para identificar filtraciones o humedad. Además, se definió el hundimiento de la capsula en el entorno controlado, por un tiempo de 2 horas sumergido. Para esta prueba se quería ver si existía algún tipo de filtración en los pasacables herméticos y los pasacables que fueron sellados por medio de pegamento epoxico.

3.2.3. Prueba 3: Funcionamiento dispositivo en entorno controlado

Esta prueba se realizó para poder probar el funcionamiento del dispositivo, para ello se requiere del dispositivo armado en totalidad y conectado a la red por medio de cable ethernet, para así revisar que se esté realizando la medición a tiempo real desarrollada para el sistema. En esta prueba se evalúa que el dispositivo se encuentre funcionando por un periodo de 40 minutos en el entorno subacuático, revisando que los sensores de medición envíen los datos de forma periódica y que el dispositivo no presente algún fallo o se apague en proceso de la medición. Como esta prueba tiene la finalidad de evaluar que el dispositivo capte y envíe datos durante el tiempo definido sin presentar ninguna filtración o fallo, los datos medidos son irrelevantes para este análisis, pero aun así serán revisados para conocer el estado y funcionamiento de los sensores.

3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Para analizar los resultados obtenidos se realizará una descripción de cómo se llevaron a cabo las dos pruebas realizadas, además se adjuntarán figuras como forma de evidencia y referencias visuales del proceso.

3.3.1. Resultados Prueba 1: Armado del dispositivo

Mientras se realizaba el armado del dispositivo se logró identificar decisiones de diseño que podrían mejorarse en próximas versiones del dispositivo. A continuación, se muestra el análisis de las piezas que se identificó que requiere una mejora en el diseño:

Soporte jaula de sensores: En este componente se encontraron dos puntos de importancia a mejorar, en primer lugar, se encontró que la geometría de la pieza hacía difícil el fijado de los pernos si no se disponía de un destornillador que superase el alto de la pieza. Por otro lado, se observó que la pieza no presentaba perforaciones para poder inundarse, si bien el juego entre piezas permite el paso del agua, para próximas versiones del dispositivo sería de gran importancia disponer de estas perforaciones debido a los cambios de presión que podrían generar daños a la pieza al no inundarse a tiempo.

Bandeja de microcontroladores: En este componente se encontraron dos posibles mejoras de diseño, siendo la primera un aumento de espacio y diámetro para pasar el cable de ethernet, pues el espacio para pasar el cable era reducido y dificultó el armado del dispositivo. Por otro lado, se observó que sería de gran ayuda disponer de más ranuras y perforaciones en la bandeja para poder pasar amarres plásticos y fijar los atados de cables respectivos.

3.3.2. Resultados Prueba 2: Aseguramiento de sistema hermético

Como se mencionó en la sección 3.2.2, para esta prueba se definió sumergir el dispositivo sin los microcontroladores y su respectiva bandeja, esto se realizó con el fin de poder confirmar que el sellado de la capsula fuera completamente hermético. De esta forma se dispuso papel absorbente en los extremos interiores de la capsula, para así detectar si existía alguna filtración de agua. En la Figura 3-6 se muestra la capsula preparada para la prueba 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-6. Prototipo preparado para prueba 2.

Al disponer el dispositivo en el agua, se pudo confirmar que la flotabilidad del sistema era positiva, debido a esto se requirió el uso de pesos para poder sumergir el dispositivo. Con estos parámetros se mantuvo el prototipo sumergido a 3 metros aproximados, por un tiempo de 1 hora 31 minutos, comenzando la prueba a las 17:09 y extrayendo el dispositivo a las 18:40 del mismo día. Se obtuvo como resultado de esta prueba que dentro del tiempo sumergido a 3m de profundidad, el dispositivo no presento ninguna filtración, y el papel absorbente en su interior resulto completamente seco.

3.3.3. Resultados Prueba 3: Funcionamiento dispositivo en entorno controlado

Para la realización de esta prueba se tomó en cuenta la misma profundidad de aproximados 3 metros dentro del entorno controlado de la piscina, utilizando los mismos pesos para sumergir el dispositivo. Por el lado de los microcontroladores, se revisó el funcionamiento del sistema primero en la superficie, demostrando que el sistema se encontraba conectado y entregando mediciones por medio de la pantalla integrada como se muestra en la Figura 3-7.

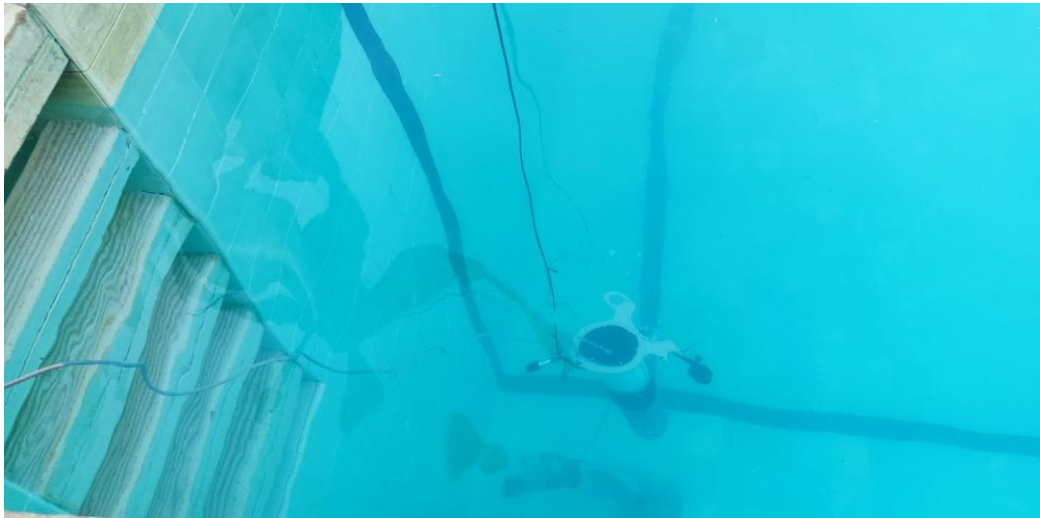


Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-7. Prototipo encendido en superficie.

Por siguiente, al haber confirmado el correcto funcionamiento, se dispuso el dispositivo en el entorno de la piscina junto a una cámara para documentar el sumergimiento del prototipo, dejando el dispositivo sumergido por un tiempo de 40

minutos comenzado la prueba a las 18:50 y extrayendo el prototipo a las 19:30. En la Figura 3-8 se muestra una foto capturada en el momento de la prueba con el dispositivo sumergido en la piscina.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-8. Prototipo sumergido en entorno piscina USM.

Dentro de este periodo de tiempo se procedió a revisar que la capsula realice mediciones y las muestre en el dashboard a tiempo real. En la Figura 3-9, se muestra una captura del dashboard durante el periodo de la prueba, en la cual se muestran los promedios de los datos medidos desde que se encendió el dispositivo en la superficie.

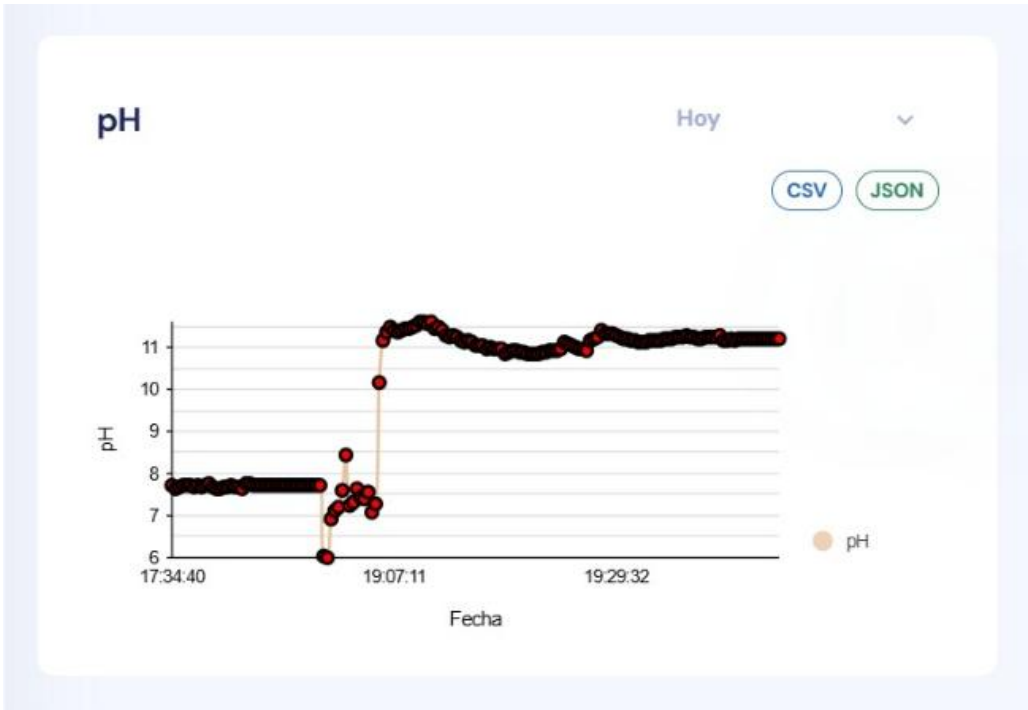


Fuente: (Creación de un sistema de monitoreo de calidad del agua y entorno subacuático en tiempo real) (Cabrera, López, Urra, & Álvarez, 2024).

Figura 3-9. Captura Dashboard, Promedios mediciones durante prueba 3.

Por siguiente se procede a hacer un breve análisis de los obtenidos de los sensores, mostrados en graficas.

En la Figura 3-10, se muestra la gráfica muestreo de los datos captados por el sensor de pH en función del tiempo, donde se observa según la marca de tiempo 19:07:11 que hay un aumento en la medición de pH pasando de valores entre 7 y 8(en la superficie) a valores que rondan 11(sumergido en la piscina), demostrando que el sensor está realizando una medición, pero los valores entregados en el Dashboard son irreales pues el pH de la piscina se debería encontrar entre 7,2 y 8 según información recopilada de laboratoriodgedysa.com (Gedysa Laboratorio, 2024). Demostrando que el sensor funciona, pero necesitando un ajuste de interpretación.



Fuente: (Creación de un sistema de monitoreo de calidad del agua y entorno subacuático en tiempo real) (Cabrera, López, Urra, & Álvarez, 2024).

Figura 3-10.Captura Dashboard, Grafica de pH durante prueba 3.

En la Figura 3-11, se ilustra la gráfica de los datos captados por el sensor de salinidad en función del tiempo, donde por medio de la marca de tiempo generada a las 19:07:11 se distingue un cambio en las mediciones pasando de 0 ppm (en la superficie) alcanzando cifras de 100 ppm al ser sumergido en la piscina, demostrando que el dato captaos es realista tomando en consideración información entregada en el informe

“Antecedentes sobre físico-química del agua” (Saavedra Fenoglio, Valdés Riquelme, & Zúñiga Espinoza, 2022), donde se confirma que la salinidad normal del agua potable se encuentra en cifras que bordean los 110 ppm al ser agua potable de extracción superficial como la que se usa en la piscina.



Fuente: (Creación de un sistema de monitoreo de calidad del agua y entorno subacuático en tiempo real) (Cabrera, López, Urra, & Álvarez, 2024).

Figura 3-11. Captura Dashboard, Gráfica Salinidad durante prueba 3.

En cuanto a la gráfica de la medición de oxígeno disuelto en función del tiempo, que se muestra en la Figura 3-12, durante el periodo de la prueba indicado alrededor de la marca de tiempo 19:07:11 el comportamiento del grafico se muestra un notorio cambio en la concentración de oxígeno disuelto, pasando de cantidades cercanas a 0 mg/L hasta 1.6 mg/L presentando luego una disminución continua, evidenciando de esta forma que el sensor requiere de un reajuste pues según la norma “Nch1333: Requisitos de calidad de agua para diferentes usos” (Instituto Nacional de Normalización, 1987), donde se define que el agua potable y de uso humano, como la de la piscina, deben bordear los 5 a 8 mg/L de oxígeno disuelto.



Fuente: (Creación de un sistema de monitoreo de calidad del agua y entorno subacuático en tiempo real) (Cabrera, López, Urra, & Álvarez, 2024).

Figura 3-12. Captura Dashboard, Gráfica Oxígeno disuelto durante prueba 3.

Por último, la Figura 3-13 muestra la gráfica de datos tomados por el sensor de temperatura, donde se puede observar que durante la marca de tiempo 19:07:11 previo a el sensor mide una temperatura de aproximadamente 23°C y al momento de sumergir la capsula, se muestra una significativa disminución de la temperatura por debajo de los 18°C siendo la temperatura se estima presentaba la piscina durante el periodo de prueba, evidenciando el correcto funcionamiento del sensor temperatura.



Fuente: (Creación de un sistema de monitoreo de calidad del agua y entorno subacuático en tiempo real) (Cabrera, López, Urra, & Álvarez, 2024).

Figura 3-13. Captura Dashboard, Gráfica Temperatura durante prueba 3.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como cierre a este proyecto se puede decir que se realizó el cumplimiento de los objetivos definidos, pudiéndose en específico concretar la recopilación de información necesaria para el diseño, lograr un diseño de carcasa capaz de ser utilizada en un entorno submarino, se logró manufacturar los componentes diseñados para el dispositivo y posteriormente integrarlos a la electrónica diseñada por el equipo multidisciplinario. Logrando de esta forma abarcar el objetivo general de proyecto. Además, se pudieron realizar pruebas preliminares al dispositivo, dando paso a la confirmación del funcionamiento y a análisis del mejoramiento de diseño de dicho sistema.

Antes de mencionar las recomendaciones, es importante recordar que para este dispositivo se utilizó en el conjunto del sistema de protección de sensores la impresión 3D en PLA como método de fabricación, donde se aclara que este método no es recomendado para un dispositivo que será sometido a un ambiente marino, pues la resistencia del material y la estructuras que este método de fabricación genera, no son lo suficientemente resistentes a los posibles impactos ni a las condiciones químicas que presenta el entorno marino, por esto se recomienda el uso de piezas fabricadas en HDPE de uso marítimo, por medio de este se lograrían piezas que puedan mantener su integridad estructural y química sin afectar el medioambiente en el que se utilicen y dando mayor durabilidad al dispositivo.

Como recomendaciones de diseño estructural obtenidos de la prueba 1 (sección 3.3.1), se comenta que para la bandeja de microcontroladores se debe considerar agregar ranuras para amarrar y pasar cables, que ayuden a facilitar el montaje de los microcontroladores en general. En cuanto a el soporte de sensores se define mejoramiento en la capacidad de inundación de la pieza realizando perforaciones en esta, además de dar más espacio para facilitar el apriete de los pernos de fijación a la tapa de la capsula. Todo esto, con el fin de mejorar la experiencia del usuario que se encargue de montar y poner en uso el dispositivo en entornos productivos.

Al realizar la prueba 3 en la sección 3.3.3, se pudo obtener que el dispositivo funcionó según lo esperado por el equipo durante 40 minutos, tomando mediciones del entorno de manera continua según lo requerido, pudiendo enviar los datos y mostrarlos en la plataforma a tiempo real. En cuanto al desempeño del dispositivo en entorno controlado, si bien el sistema funcionó según lo esperado, los sensores aun necesitan un reajuste, pues los datos entregados por los sensores de Oxígeno disuelto y pH mostraron datos poco realistas para el ambiente en que fueron probados, destacando la gran importancia de

asegurar el mejoramiento en las mediciones, para evitar cualquier daño medioambiental que pueda ocasionar una mala calibración de los sensores, pues significaría grandes pérdidas de biomasa en un entorno productivo.

Se debe destacar la importancia de dispositivos como este, que buscan el mejoramiento de la industria en Chile, contribuyendo a la sustentabilidad medioambiental y a la salud de los peces dentro del área salmonera, siendo una alternativa que presenta ventajas en la versatilidad y resolución de medición, pudiendo entregar datos de una forma personalizada de diferentes zonas de una jaula de peces, buscando innovar con relación a las alternativas existentes en el mercado. En cuanto a la escalabilidad del proyecto, se podrían plantear diferentes aplicaciones, desde control de parámetros de sistemas de agua estancada para riego, medioambientes acuáticos bajo estudio, zonas protegidas y aguas contaminadas, significando un impacto positivo dentro de diversas áreas de la industria acuícola y ciencias de investigación.

Por último, como trabajo futuro para el proyecto, queda pendiente realizar los mejoramientos observados para poder avanzar a las pruebas con dispositivo montado al ROV, preliminarmente en un medioambiente controlado y por último en un ambiente submarino, que pueda verificar el completo funcionamiento efectivo del sistema diseñado, confirmando todas las funciones definidas para el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliexpress. (s.f.). *SENSOR de calidad del agua con nitrato de amonio, temperatura de turbidez, PH DO EC SOLAR flotante multiparámetro*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/1005004011944647.html>
- Amran, I. Y., Isa, K., Kadir, H. A., Ambar, R., Ibrahim, N. S., Kadir, A. A., & Mangshor, M. H. (2020). Development of Autonomous Underwater Vehicle for Water Quality Measurement Application. *Proceedings of the 11th National Technical Seminar on Unmanned System Technology 2019* (págs. 139–161). Singapore: Faculty of Electrical & Electronics Engineering, Universiti Malaysia Pahang, Pekan, Pahang, Malaysia.
- Betancourt, J., Coral, W., & Colorado, J. (2020). An integrated ROV solution for underwater net-cage inspection in fish farms using computer vision. *Discover Applied Sciences*.
- BlueRobotics. (s.f.). *BlueRobotics*. Obtenido de Watertight Enclosure End Caps, Domes, and Flange Caps: <https://bluerobotics.com/store/watertight-enclosures/locking-series/wte-end-cap-vp/>
- BlueRobotics. (s.f.). *BlueRobotics*. Obtenido de <https://bluerobotics.com>
- Cabrera, K., López, F., Urra, C., & Álvarez, S. (2024). *Creación de un sistema de monitoreo de calidad del agua y entorno subacuático en tiempo real*. Valparaíso.
- Choi, S. K., & Easterday, O. (2000). An Underwater Vehicle Monitoring System and Its Sensors. *Experimental Robotics VII*, (págs. 551--560). Hawaii, USA.
- Consejo del Salmón. (25 de enero de 2021). Obtenido de Historia de la industria en Chile: <https://www.consejodelsalmon.cl/historia-de-la-industria-en-chile/>
- Etikasari, B., Husin, Kautsar, S., Riskiawan, H. Y., & Setyohadi, D. P. (2020). Wireless sensor network development in unmanned aerial vehicle (uav) for water quality monitoring system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Bali, Indonesia.
- FAO. (Mayo de 2023). *Fisheries and Aquaculture*. Obtenido de Fishery and Aquaculture Country Profiles: Chile: <https://www.fao.org/fishery/en/facp/chl>
- Fundación Terram. (6 de Mayo de 2020). *Salmonicultura en áreas protegidas: ¿Qué bonita vecindad?* Obtenido de Ladera Sur: <https://laderasur.com/articulo/salmonicultura-en-areas-protegidas-que-bonita-vecindad/>
- Gawas, K., Khanolkar, S., Pereira, E., Rego, M., Naaz, M., & Braz, E. (2020). Development of a low cost remotely operated vehicle for monitoring underwater marine environment. *Global Oceans 2020: Singapore – U.S. Gulf Coast*, (págs. 1-7).

- Gedysa Laboratorio. (3 de Noviembre de 2024). *laboratoriogedysa.com*. Obtenido de Parámetros del Agua de Piscina: <https://www.laboratoriogedysa.com/parametros-importantes-a-controlar-en-nuestra-piscina/#:~:text=El%20pH%20debe%20estar%20entre,piscina%20esté%20libre%20de%20bacterias>.
- Innovasea. (s.f.). *Sensores Inalámbricos*. Obtenido de <https://www.innovasea.com/aquaculture-intelligence/sensores-inalambricos/>
- Instituto Nacional de Normalización. (1987). Requisitos de calidad del agua para sus diferentes usos. (*Nch1333*). Obtenido de https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf
- Matmake. (s.f.). *Matmake.com*. Obtenido de <https://matmake.com/polymers.html>
- Pedroso de Lima, R., Boogard, F., & de Graaf-van Dinther, R. (2020). Innovative Water Quality and Ecology Monitoring Using Underwater Unmanned Vehicles: Field Applications. *Challenges and Feedback from Water Managers*.
- Qasem, F., Susilo, T. B., Said, S., Alarbash, Z., Hasan, M., Jabakhanji, B., . . . alkork, S. (2019). Preliminary Engineering Implementation on Multisensory Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV) for Oil Spills Surveillance. *2019 3rd International Conference on Bio-engineering for Smart Technologies*, (págs. 1-5). Paris, France.
- RS Hydro. (s.f.). *Proteus Multi-parameter Water Quality Sensor*. Obtenido de <https://www.rshydro.co.uk/water-quality-monitoring-equipment/water-quality-testing-equipment/multiparameter-water-quality-sonde/proteus-bod-multiparameter-water-quality-meter/>
- Ruthven, P. (5 de Enero de 2015). *Monitoreo de las granjas de cultivos*. Obtenido de <https://aquafeed.co/entrada/monitoreo-de-las-granjas-de-cultivos-20487/>
- Saavedra Fenoglio, A., Valdés Riquelme, H., & Zúñiga Espinoza, C. (2022). *Antecedentes sobre físico-química del agua*. La Cruz: CNR.
- Scale Aquaculture AS. (s.f.). *Orbit 881 Multisensor*. Obtenido de <https://scaleaq.cl/producto/orbit-881-multisensor/>
- USM Noticias. (21 de Noviembre de 2023). *Investigadora USM desarrolla pintura nanotecnológica que aporta al cultivo sostenible de salmones*. Obtenido de <https://usm.cl/noticias/investigadora-usm-encabeza-iniciativa-orientado-a-la-creacion-de-una-pintura-antifouling-marino/#:~:text=Una%20de%20las%20mayores%20dificultades,a%20las%20ma llas%20de%20cultivo>.
- YSI. (s.f.). *i3XO EcoMapper AUV*. Obtenido de <https://www.ysi.com/ecomapper>
- Zanolo, R. (30 de Junio de 2022). *La importancia de monitorear y controlar la calidad*

del agua en la producción de peces. Obtenido de
<https://www.universodelasaludanimal.com/acuicultura/la-importancia-de-monitorear-y-controlar-la-calidad-del-agua-en-la-produccion-de-peces/>

ANEXO B ENTREVISTA EDUARDO GARCÍA AQUAROV

Preguntas Eduardo García AquaROV:

proceso para instalar dispositivo: Se entrega requerimiento, exportan y piden licencia. Housing central que es cilindro con cosas adentro con dos tapas. Son 3 housing que componen robot, pieza central donde van los motores y el motor principal.

- - - Luego dos housing de fibra de carbono con proposito de resistencia, pueden ser tapas metálicas o plásticos, tasetal, bomb, cuando estas escasos ocupan hpe, todo esto se presiona con dos anillos externos que se cruzan con una rosca sin fi, que son 4, que van equiespaciadas del anillo y que sujeta toda la estructura, sobre esos se monta la estructura interna, estos son accesorios y se hacen según la necesidad del accesorio.

Requisitos: flotabilidad neutra, no puede aportar peso al robot en el agua, y que el volumen tenga un diseño aerodinámico que no entorpezca la labor del robot, aerodinámico. En agua es medio kilo negativo, para compensar con flotabilidad según la operación que se haga en terreno, el equipo de 12 kilos, todo los movimientos verticales, achatada en altura y más ancho que alto, es como un rectángulo, los mov hacia adelante y hacia atrás, pero en mov verticales la pared que le proporciona el mismo cuerpo hace que se mueva mucho agua por lo tanto es menos eficiente, si se le añade un cubo arriba el centro de masa se desplaza demasiado, y como los motores no se desplazan se mueve como un péndulo, idealmente estructura cilíndrica, bordes redondos para que tenga movilidad aceptable.

El ROV pequeño la conexión ethernet viable para el equipo genera problemas en comunicación cuando los motores se mueven muy fuertes, lo estabilizadores de corriente no son rápidos e interrumpen la comunicación, para esto es tener umbilical doble, la conexión red está en carrete, irían dos cablecitos.

Ellos no ocupan 8 pines para ethernet pq si no es necesario ancho de banda ocupan PLC, hasta 300 megas pero permite ocupar dos pines de comunicación, tmb dos pines de energía lo que lo hace menos bultoso, depende de la necesidad de ancho de banda. Un PLC está a 4 cámaras full HD sin transmisión y sin pérdidas, se recomienda PLC con menos cantidad de cables.

Normas: flotabilidad, cable tradicional de tiendas es negativa, se requiere cable umbilical especializado con chaqueta impermeable, con chaqueta con flotabilidad positiva lo que permite que el robot no se lleve el peso del cable.

Los conectores especiales submarinos ellos usan, permiten estar sumergidos,

cuando llega el robot, se dieron cuenta que por 4 horas sumergido empieza a fallar, más de 200 metros, cambiaron todos los sensores, ahora están buscando sensores que resistan más de 4 horas. El robot de jaulas es para 150 m, ROV puede llegar a inicios de Junio.

Housing, disponen de modelos ? Pueden usarse de referencia, tengan los requerimientos y lo mandan listo para fabricarlo, el cilindro de 5 piezas tiene dos tapas huecas que hacen el sello y para poner dos tapas, estudio que lo pueden pasar, diámetros cilindro para poner los componentes, 3 a 4 pulgada de diametro de estandar, unorobotics.com ellos tienen housing

Marcos dicen que hay que encontrar sensores sin calibración, para que no se complejiza el diseño, ideal sensores expuestos en la zona de senado protegido pa los golpes, algo semiabierta. Cilindro con electrónica tapada, se hace la tapa y se fabrica la tapa con extensión cilíndrica con rejilla, abierta al mar. Con la medida de la tapa poner los conectores, etc.

Consume 3500 Watts , mientras más potencia cable más grueso.

Problemas de humedad, donde housing son metálicos, sinoa adentro se empaña todo, la forma de sellado se calienta todo para que salga toda la humedad posible y adentro se ocupan lo que va dentro de los zapatos, silica de los zapatos retiene humedad, prenderlo un rato abierto, se hace cajita con luces rojas y en un laboratorio con aire acondicionado que bota toda la humedad del ambiente.

Tiempo de funcionamiento, consideración, No comprar un solo housing.

housing -> cilindro con dos tapas, 3 que componen el robot.

Primero metal, aluminio, negro. Van los conectores con motores y domilial

2 de fibra de carbono, 2 tapas anexadas, metálicas o plásticos, tacetal-duro/pom/hdpe-blando.

4 roscas sin fin. para cualquier externa, de acuerdo a la necesidad

Flotabilidad neutra, no aporta peso en agua, aire da lo mismo

Volumen -> mínimo diseño aerodinámico, no caja, debe ser cilíndrica, bordes redondos, con movilidad aceptable.

12 kg - 20 kg aire.

agua como 1/2 kg

ligeramente más ancho que alto, empujar 7.5Kg. Para vertical es menos eficiente.

Conectores atrás para ver eso, accesorio con ethernet, 2 cables juntos, ethernet. 2

cables para comunicación.

no ocupa 8 pines para ethernet, usan plc, menor BW pero 2 pin.

2 pin energía, 2 pin ethernet.

Baja BW, al ser sacado de cosas mínimas, plc normal aguanta hasta 4 cámaras HD. menos cable, menos peso.

Energiza y ethernet mismo cable.

Cable en tienda-> flotabilidad negativa. Cable umbilical especial, chaqueta con espuma,

Sensores de presión más de 3 horas, 200 metros,

Temporada de lavado, el rov que trae tiene 2 umbilical, conectado a misma red del robot.

Wifi del robot.

Colocar noc afuera, sincronizar reloj, la muestras sean sincronizadas, integrar a otros disp.

se manda a fabricar el housing -> modificable, tapas huecas que hacen el sello. 5 partes.

Diámetros del cilindro, 3-4 pulgadas de diámetro, no pasarse de ahí.

Ref directas, bluerobotics.com -> planos

Sensores que no requiera calibración, sensores expuestos en una cajita para proteger golpes,

tapa con extensión cilíndrica para los sensores.

No necesitan tantos espacios entre ellos, depende de nosotros los sensores, relevantes,

Alimentación 220 V, controlar consumo y sea lo más fino posible

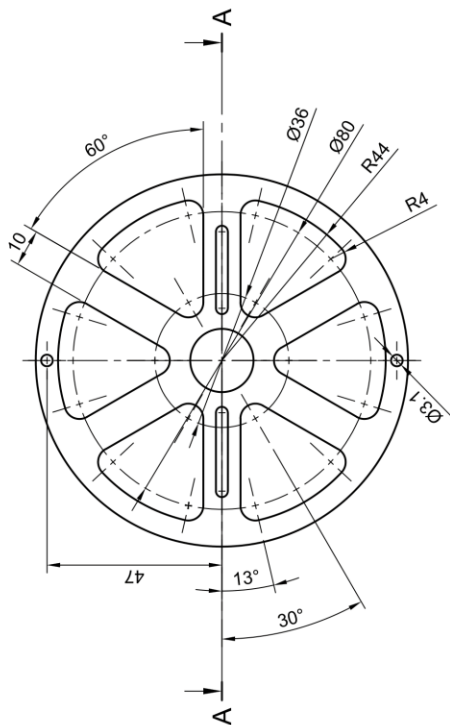
Conectado todo a metal para que no se caliente mucho, usan silica para humedad, con aire acondicionado se saca humedad.

Solo las bombas de lastring usan ecualización de presión, en este caso no necesitamos.

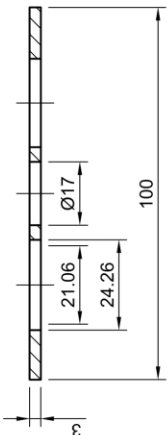
Conexión ethernet, aguantan mil metros de profundidad

Nos facilitan el cable porque solo hay mil metros,

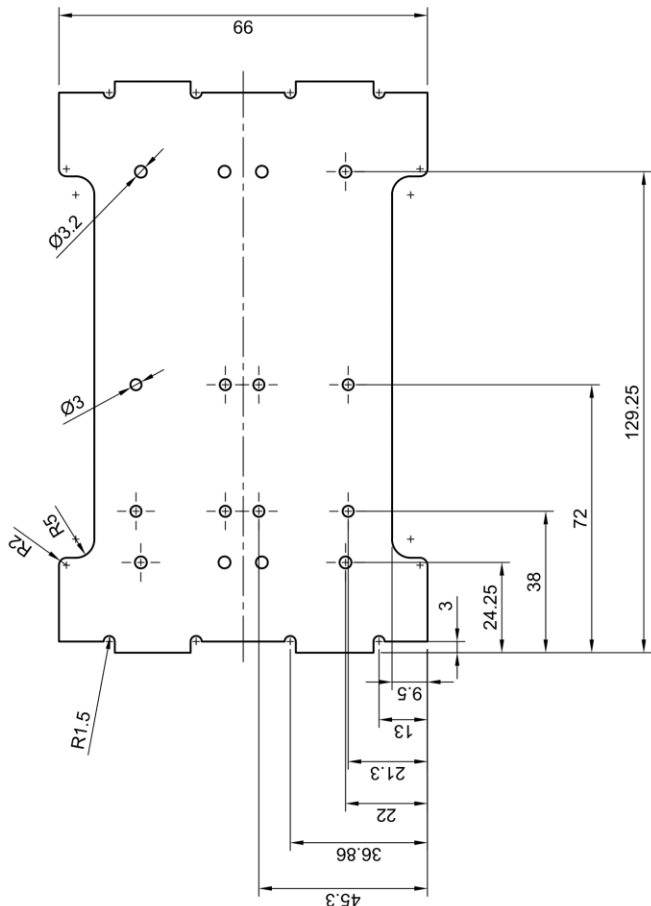
Todo dentro del mismo housing, parte sellada - abierta.



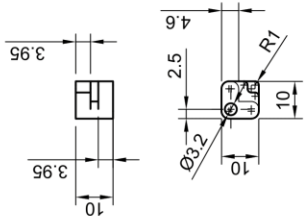
A-A (1:1)



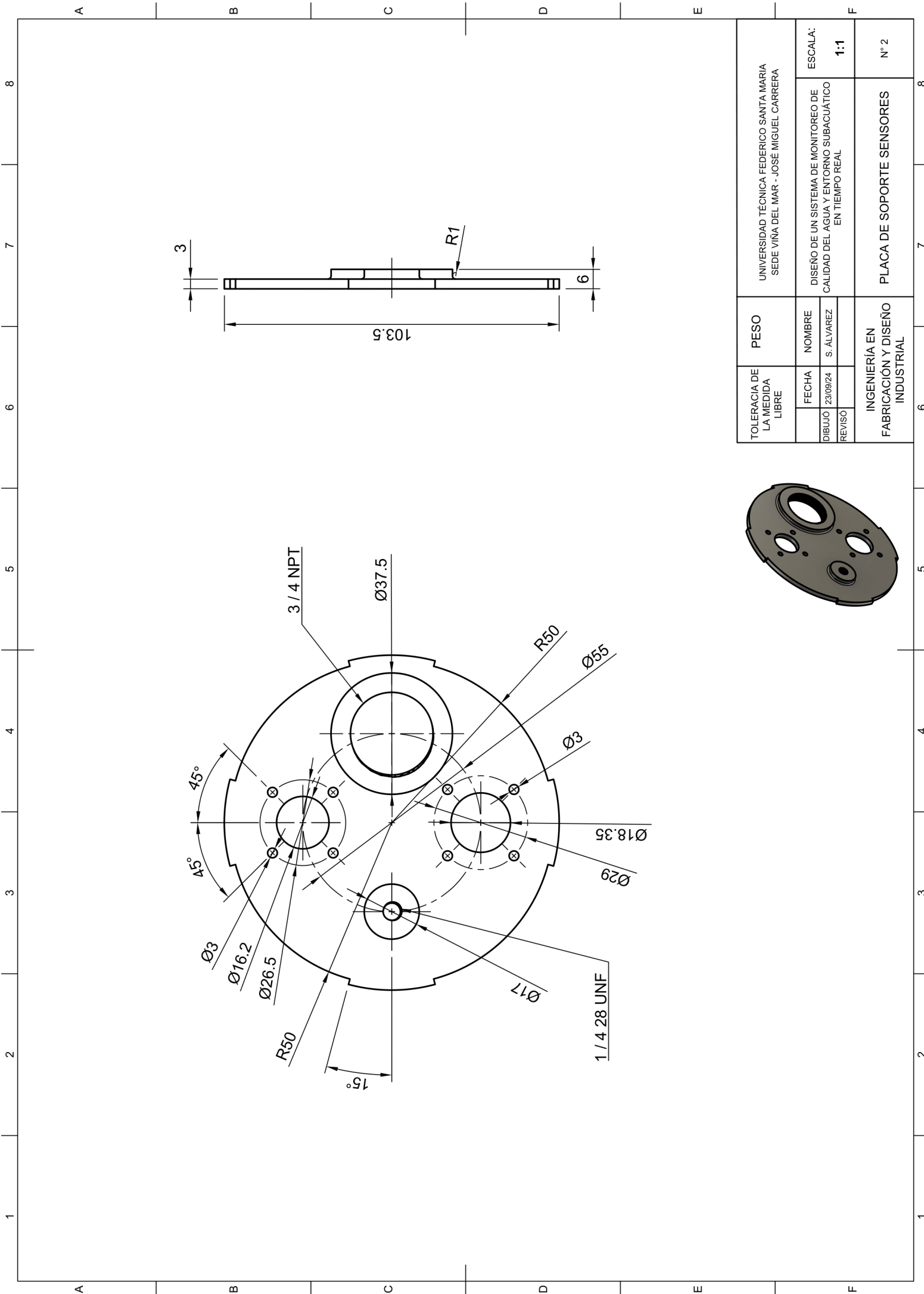
BANDEJA PERFORADA PARA MICROCONTROLADORES



SEPARADOR PLACA PCB - 4 UNIDADES

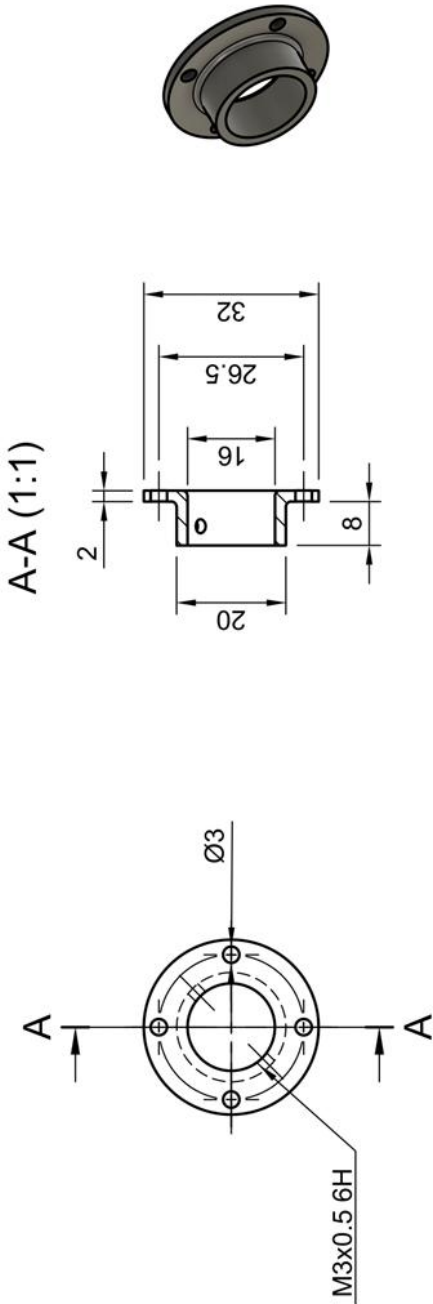


TOLERANCIA DE LA CARGA LIBRE	PESO	UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VINA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA	
	FECHA	NOMBRE	ESCALA:
	23/09/24	S. ALVAREZ	1:1
DISEÑO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA Y ENTORNO SUBACUÁTICO EN TIEMPO REAL		
REVISÓ			
INGENIERÍA EN FABRICACIÓN Y DISEÑO INDUSTRIAL		BANDEJA MICROCONTROLADORES	
		N° 1	

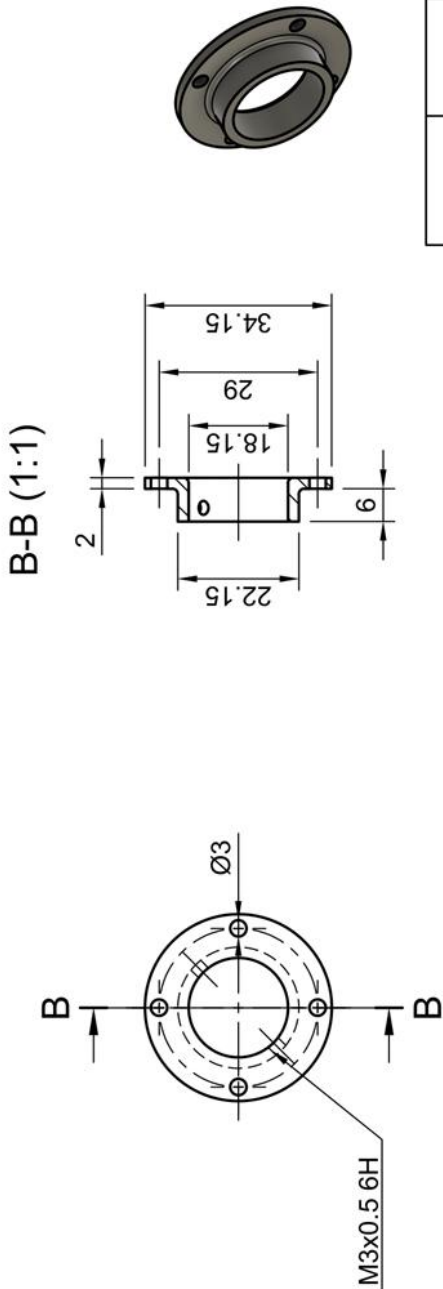


TOLERANCIA DE LA MEDIDA LIBRE		PESO	UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA	
FECHA	NOMBRE	DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA Y ENTORNO SUBACUÁTICO EN TIEMPO REAL	ESCALA:	
DIBUJO 23/09/24	S. ÁLVAREZ		1:1	
REVISO		INGENIERÍA EN FABRICACIÓN Y DISEÑO INDUSTRIAL		Nº 2

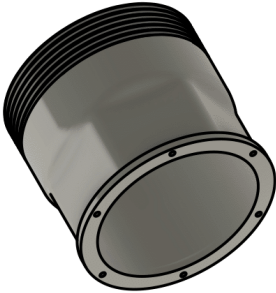
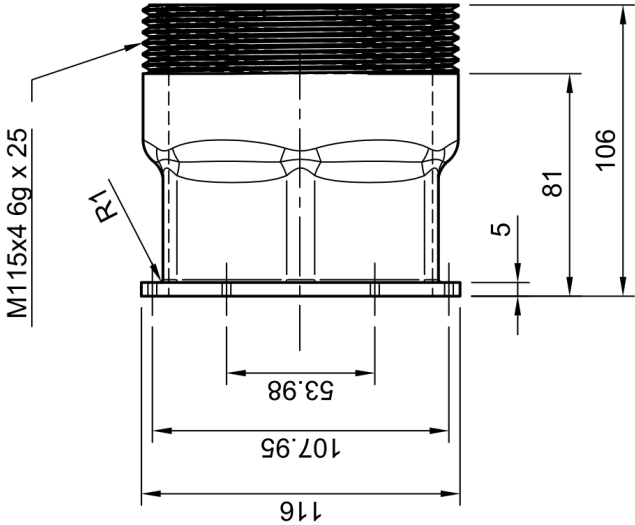
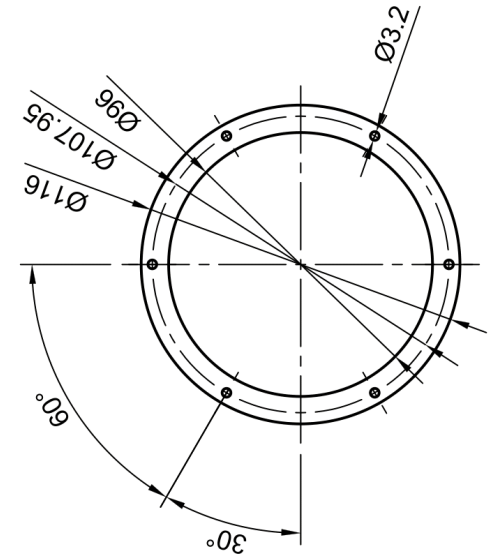
Flange Sensor Electroconductividad



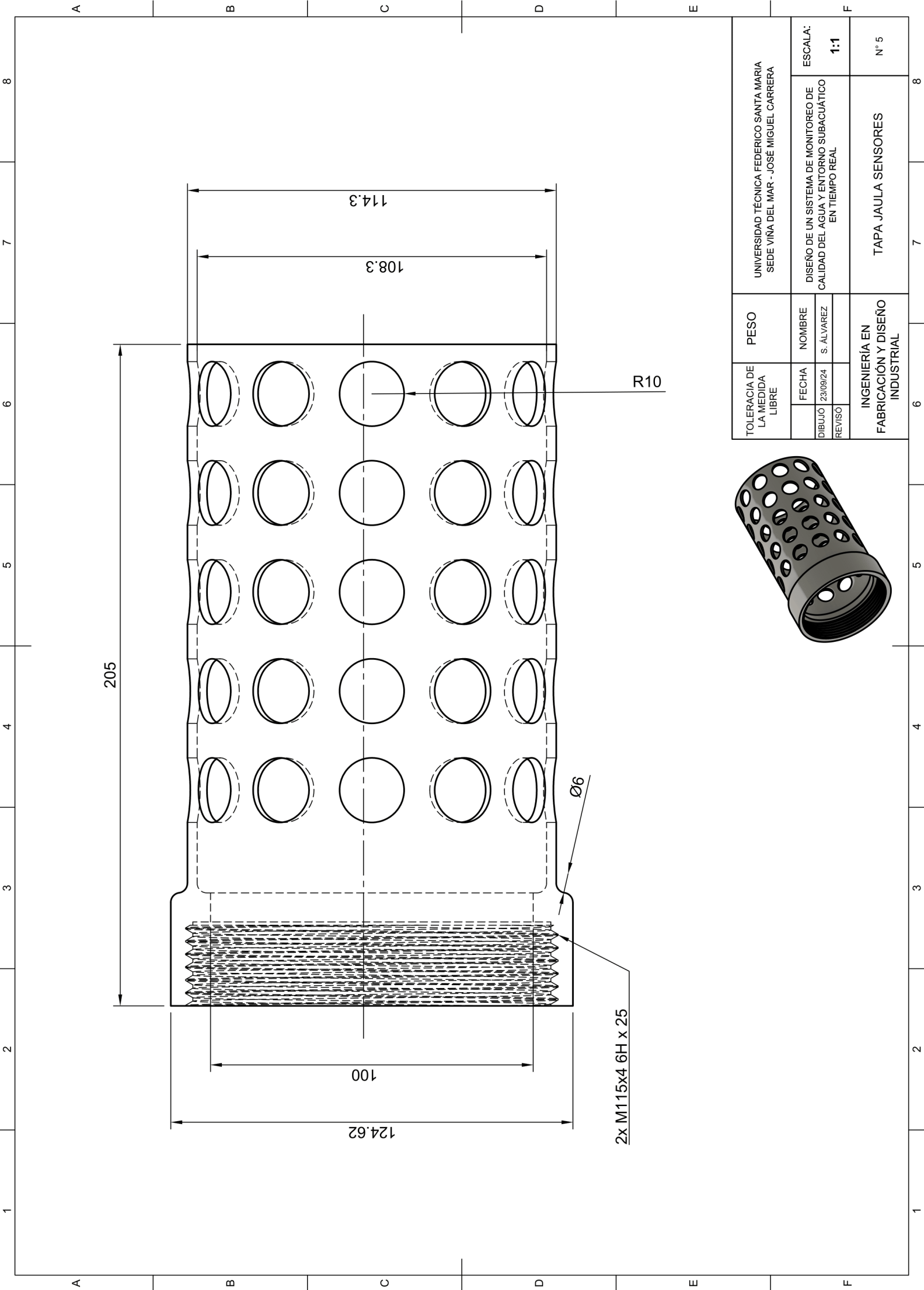
Flange Sensor pH



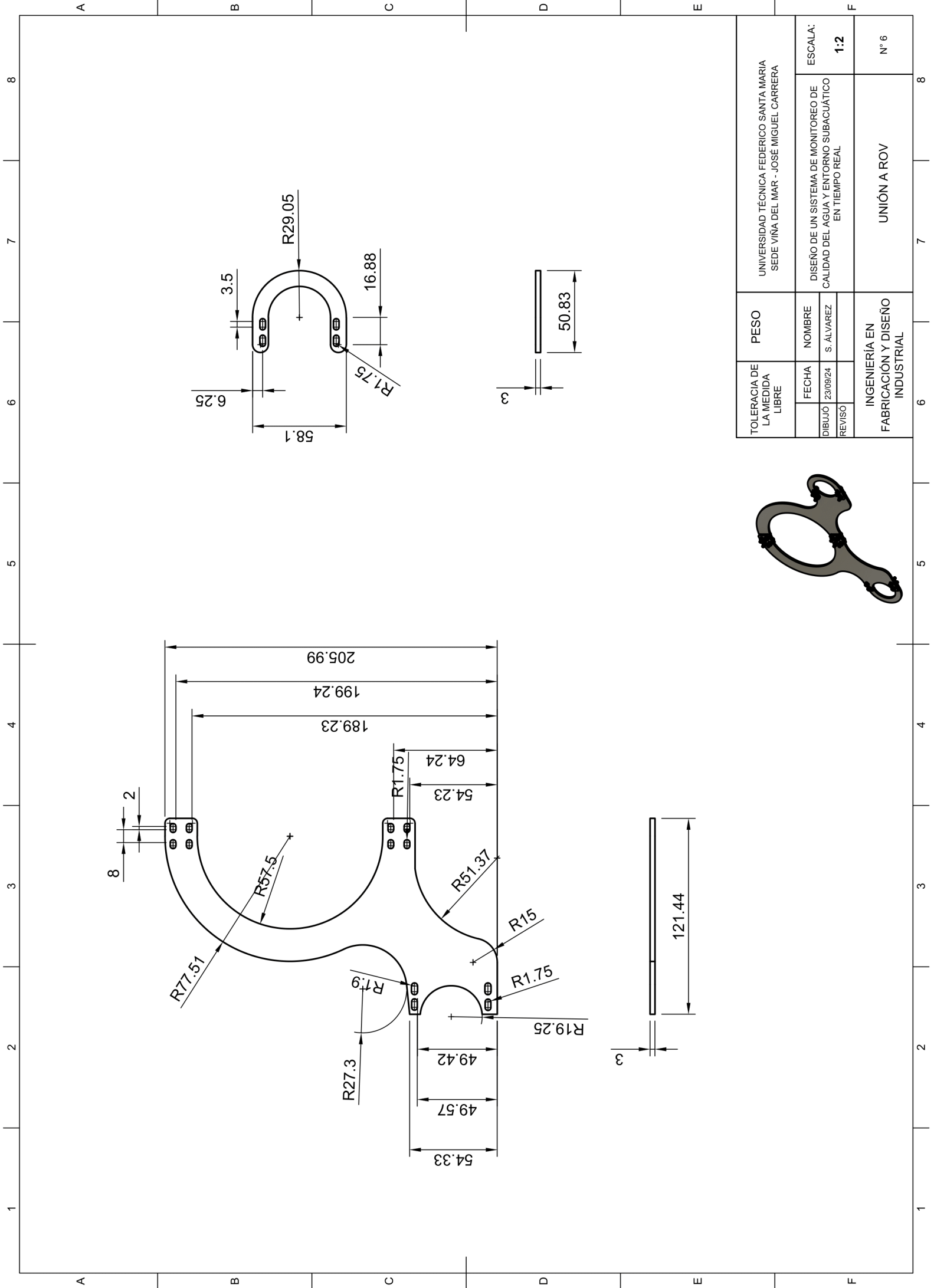
TOLERANCIA DE LA MEDIDA LIBRE	PESO		UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA	
	FECHA	NOMBRE	DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA Y ENTORNO SUBACUÁTICO EN TIEMPO REAL	
	DIBUJÓ 23/09/24	S. ALVAREZ	ESCALA: 1:1	
INGENIERÍA EN FABRICACIÓN Y DISEÑO INDUSTRIAL			FLANGES PARA SENSORES	
			Nº 3	



TOLERANCIA DE LA MEDIDA LIBRE		PESO		UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA	
FECHA	NOMBRE	DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA Y ENTORNO SUBACUÁTICO EN TIEMPO REAL		ESCALA: 1:1	
DIBUJO	23/09/24	S. ÁLVAREZ		Nº 4	
REVISO		INGENIERÍA EN FABRICACIÓN Y DISEÑO INDUSTRIAL		SOPORTE JAULA SENSORES	



TOLERANCIA DE LA MEDIDA LIBRE	PESO		UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA	
	FECHA	NOMBRE	DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA Y ENTORNO SUBACUÁTICO EN TIEMPO REAL	
DIBUJO	23/09/24	S. ÁLVAREZ	ESCALA: 1:1	
REVISÓ			TAPA JAULA SENSORES	
INGENIERÍA EN FABRICACIÓN Y DISEÑO INDUSTRIAL			Nº 5	



TOLERANCIA DE LA MEDIDA LIBRE		PESO		UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA	
	FECHA	NOMBRE		DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA Y ENTORNO SUBACUÁTICO EN TIEMPO REAL	ESCALA: 1:2
DIBUJÓ	23/09/24	S. ÁLVAREZ			
REVISÓ					
INGENIERÍA EN FABRICACIÓN Y DISEÑO INDUSTRIAL				UNIÓN A ROV 	