

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Sistema mecatrónico para determinar automáticamente las dimensiones  
de anchovetas usando visión artificial**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO  
DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA  
MECATRÓNICA**

**AUTOR**

Lhester Murrugarra Ortiz

**ASESOR:**

Pedro Moisés Crisóstomo Romero

Lima, mayo, 2021

## RESUMEN

Este trabajo plantea el desarrollo de un sistema mecatrónico sumergible que trabaje junto a un computador en una embarcación. El proyecto tiene como propósito indicarle al operario si el cardumen se puede pescar según las reglas impuestas por el Instituto del Mar Peruano (IMARPE) y por el Ministerio de Producción (PRODUCE). Dichas instituciones indican que solo se puede pescar un cardumen donde la cantidad de juveniles, especies con menos de 12cm, sea menor al 10% del cardumen (MINISTERIO DE PRODUCCIÓN, 2015). Para ello, el vehículo sumergible (ROV) del sistema cuenta con cámaras estereoscópicas, las cuales son capaces de medir la longitud en centímetros de las imágenes tomadas. En el presente proyecto, se grabará un video del cardumen y este será enviado a la estación en tierra, donde el computador será el encargado de realizar el procesamiento y dar los resultados al usuario.

El documento inicia una recopilación de información referente a la temática del sistema propuesto, presentando el estado del arte, el marco teórico y posibles interesados. Luego, se realiza un estudio de los requerimientos del proyecto, los procesos internos que este debe realizar, se proponen soluciones y se mejora la solución ganadora. Finalmente, se realizaron las modificaciones necesarias al ROV (a nivel mecánico y electrónico) y se desarrolló el algoritmo de procesamiento de imágenes.

Este trabajo ha sido elaborado con la finalidad de sentar las bases para desarrollar proyectos que mejoren el uso de los recursos marinos sin dañarlos. Dado que el proyecto es bastante amplio y el procesamiento de las imágenes puede volverse muy complejo, se considera que el presente trabajo puede ser complementado y mejorado por especialistas en procesamiento de imágenes y en temas de diseño de vehículos sumergibles.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| RESUMEN.....  | i    |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | iv   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | v    |
| INTRODUCCIÓN .....  | 1    |
| ANTECEDENTES .....  | 4    |
| 1.1 Desarrollo de la problemática .....                       | 4    |
| 1.2 Propuesta de solución .....                               | 6    |
| 1.3 Objetivos .....   | 6    |
| 1.4 Alcance .....   | 7    |
| 1.5 Metodología .....   | 8    |
| 1.6 Marco referencial.....                                    | 9    |
| 1.6.1 Hábitat de las anchovetas y sus condiciones.....        | 9    |
| 1.6.2 Pesca de anchovetas.....                                | 11   |
| 1.6.3 Características de los barcos de pesca .....            | 12   |
| 1.6.4 Dimensiones de los cardúmenes de anchovetas .....       | 15   |
| 1.7 Identificación de clientes .....                          | 17   |
| 1.8 Estado del arte .....                                     | 18   |
| 1.8.1 Sistemas integrales .....                               | 19   |
| 1.8.1.1 S.I. Artículos académicos.....                        | 19   |
| 1.8.1.2 S.I. Patentes .....                                   | 21   |
| 1.8.1.3 S.I. Tesis.....                                       | 24   |
| 1.8.2 Subsistema de identificación.....                       | 29   |
| 1.8.3 Subsistema de medición.....                             | 31   |
| 1.8.4 Subsistema de movilidad .....                           | 32   |
| 1.8.5 Algoritmos de segmentación de objetos en imágenes ..... | 37   |
| 1.8.5.1 Transformada Watershed .....                          | 37   |
| 1.8.5.2 Método de Otsu .....                                  | 38   |
| 1.8.5.3 Transformada de Hough .....                           | 38   |
| DISEÑO CONCEPTUAL.....  | 39   |
| 2.1 Lista de requerimientos.....                              | 39   |
| 2.2 Estructura de funciones.....                              | 45   |
| 2.2.1 Black Box.....  | 45   |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.1.1 Señales de entrada .....                       | 45 |
| 2.2.1.2 Señales de salida .....                        | 46 |
| 2.2.2 Diagrama de funciones .....                      | 47 |
| 2.3 Matriz morfológica .....                           | 51 |
| 2.3.1 Matriz morfológica del dominio actuadores .....  | 51 |
| 2.3.2 Matriz morfológica del dominio de sensores ..... | 52 |
| 2.3.3 Matriz morfológica del dominio de energía .....  | 53 |
| 2.3.4 Matriz morfológica del dominio de control .....  | 54 |
| 2.3.5 Matriz morfológica del dominio estructural ..... | 56 |
| 2.4 Conceptos de solución .....                        | 56 |
| 2.4.1 Concepto de solución 1 .....                     | 57 |
| 2.4.2 Concepto de solución 2 .....                     | 63 |
| 2.4.3 Concepto de solución 3 .....                     | 68 |
| 2.5 Evaluación técnico-económica .....                 | 74 |
| 2.6 Concepto de solución óptimo .....                  | 82 |
| CONCLUSIONES .....                                     | 83 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                     | 84 |
| ANEXOS .....   | 90 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1.1: Dimensiones del cardumen de anchovetas. ....  | 16   |
| Tabla 1.2: Comparación de medidas reales y las obtenidas con el sistema. ....                              | 21   |
| Tabla 1.3: Comparación de técnicas basadas en modelos.....   | 25   |
| Tabla 1.4: Tabla comparativa de los subsistemas de identificación. ....                                    | 28   |
| Tabla 1.5: Resultados de la clasificación según color. ....  | 29   |
| Tabla 1.6: Precisión obtenida para algunos valores de thresholding. ....                                   | 30   |
| Tabla 1.7: Tabla comparativa de los subsistemas de identificación. ....                                    | 31   |
| Tabla 1.8: Tabla comparativa de los subsistemas de movilidad. ....   | 36   |
| Tabla 2.1: Actuadores de los conceptos de solución. ....   | 52   |
| Tabla 2.2: Sensores de los conceptos de solución. ....   | 52   |
| Tabla 2.3: Componentes del dominio de energía de los conceptos de solución. ....                           | 53   |
| Tabla 2.4: Componentes de hardware y software del dominio de control de los<br>conceptos de solución. .... | 54   |
| Tabla 2.5: Algoritmos del dominio de control de los conceptos de solución. ....                            | 55   |
| Tabla 2.6: Estructuras de los conceptos de solución. ....  | 56   |
| Tabla 2.7: Evaluación técnica de los conceptos de solución.....  | 75   |
| Tabla 2.8: Puntos de convergencia de cámaras estereoscópicas. ....   | 77   |
| Tabla 2.9: Evaluación económica de los conceptos de solución. ....   | 79   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Figura 1.1: Anchoqueta.....  | 9    |
| Figura 1.2: Anchoquetas adultas. ....  | 10   |
| Figura 1.3: Anchoquetas juveniles. ....                                      | 10   |
| Figura 1.4: Pesca de cerco.....  | 12   |
| Figura 1.5: Barco para captura de anchoqueta. ....                           | 12   |
| Figura 1.6: Distribución de la flota de extracción de anchoqueta. ....       | 13   |
| Figura 1.7: Barco para captura de anchoqueta. ....                           | 14   |
| Figura 1.8: Morfología externa e interna de un cardumen de anchoquetas. .... | 15   |
| Figura 1.9: Descriptores del cardumen de anchoquetas.....                    | 16   |
| Figura 1.10: Cardumen de anchoqueta en movimiento. ....                      | 18   |
| Figura 1.11: Cardumen de anchoqueta ante presencia de depredadores. ....     | 18   |
| Figura 1.12: Línea a lo largo del pez según su estructura.....               | 19   |
| Figura 1.13: Cámara con visión 3D.....                                       | 20   |
| Figura 1.14: Identificación de peces.....                                    | 21   |
| Figura 1.15: Sistema para obtención de dimensiones y peso de un pez. ....    | 22   |
| Figura 1.16: Tanque con cámara de visión estereoscópica. ....                | 23   |
| Figura 1.17: Reconocimiento de peces en el tanque.....                       | 23   |
| Figura 1.18: Reconocimiento de peces en el tanque.....                       | 24   |
| Figura 1.19: Reconocimiento de peces en el tanque.....                       | 24   |
| Figura 1.20: Longitud obtenida del pez. ....                                 | 25   |
| Figura 1.21: Procedimiento para obtención de la silueta del pez. ....        | 26   |

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.22: Seguimiento del pez previamente identificado.....                                     | 27 |
| Figura 1.23: Identificación de violín con un de valor de thresholding de 40.....                   | 30 |
| Figura 1.24: Aplicación measure en funcionamiento. ....  | 32 |
| Figura 1.25: Vehículo sumergible DexROV.....   | 32 |
| Figura 1.26: Cámara con visión 3D. ....  | 33 |
| Figura 1.27: Vehículo sumergible BlueROV2. ....  | 33 |
| Figura 1.28: Vehículo sumergible ROV POSEIDON I. ....  | 34 |
| Figura 1.29: Vehículo sumergible Fathom One. ....  | 34 |
| Figura 1.30: Vehículo sumergible Gladius Mini. ....  | 35 |
| Figura 1.31: Vehículo sumergible Gladius Mini. ....  | 35 |
| Figura 1.32: Conjunto de manzanas original.....  | 37 |
| Figura 1.33: Conjunto de manzanas segmentadas. ....  | 37 |
| Figura 1.34: Conjunto de manzanas segmentadas. ....  | 38 |
| Figura 1.35: Conjunto de manzanas segmentadas. ....  | 38 |
| Figura 2.1: Black Box del sistema. ....  | 45 |
| Figura 2.2: Estructura de funciones del sistema. ....  | 48 |
| Figura 2.3: Modelo CAD del vehículo BlueROV2. ....   | 57 |
| Figura 2.4: Sistema adicional al vehículo BlueROV2 del concepto de solución 1. ...                 | 57 |
| Figura 2.5: Sistema de iluminación del concepto de solución 1. ....                                | 58 |
| Figura 2.6: Sistema de visión del concepto de solución 1. ....                                     | 59 |
| Figura 2.7: Abrazadera del encapsulado de acrílico del concepto de solución 1. ....                | 60 |
| Figura 2.8: Abrazadera para conexión entre tubos y plataformas del concepto de<br>solución 1. .... | 60 |
| Figura 2.9: Sujeción de la fuente conmutada del concepto de solución 1. ....                       | 61 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.10: Detalle de conexión entre componentes electrónicos y plancha de aluminio del concepto de solución 1..... | 62 |
| Figura 2.11: Parte posterior del modelo CAD del vehículo BlueROV2.....  | 62 |
| Figura 2.12: Modelo CAD del vehículo BlueROV2. ....   | 63 |
| Figura 2.13: Modelo CAD del vehículo BlueROV2 sin dos espumas. ....   | 63 |
| Figura 2.14: Isométrico del concepto de solución 2. ....  | 64 |
| Figura 2.15: Sellado de estructura adicional del concepto de solución 2. ....   | 65 |
| Figura 2.16: Distribución interna del sistema adicional del concepto de solución 2. ....                              | 66 |
| Figura 2.17: Cámaras del concepto de solución 2. ....   | 67 |
| Figura 2.18: Vehículo sumergible Fathom One. ....   | 68 |
| Figura 2.19: Componentes internos del concepto de solución 3. ....  | 69 |
| Figura 2.20: Unión delantera del concepto de solución 3.....  | 70 |
| Figura 2.21: Vista de perfil del tocho vertical del concepto de solución 3.....                                       | 71 |
| Figura 2.22: Vista de posterior del tocho vertical del concepto de solución 3.....                                    | 72 |
| Figura 2.23: Vista superior de plancha horizontal del concepto de solución 3.....                                     | 73 |
| Figura 2.24: Integración del sensor de profundidad del concepto de solución 3. ....                                   | 73 |
| Figura 2.25: Punto de convergencia de cámara estereoscópica. ....   | 76 |
| Figura 2.26: Evaluación técnico económica de los conceptos solución. ....   | 81 |
| Figura 2.27: Modelo preliminar del concepto de solución óptimo.....   | 82 |

## INTRODUCCIÓN

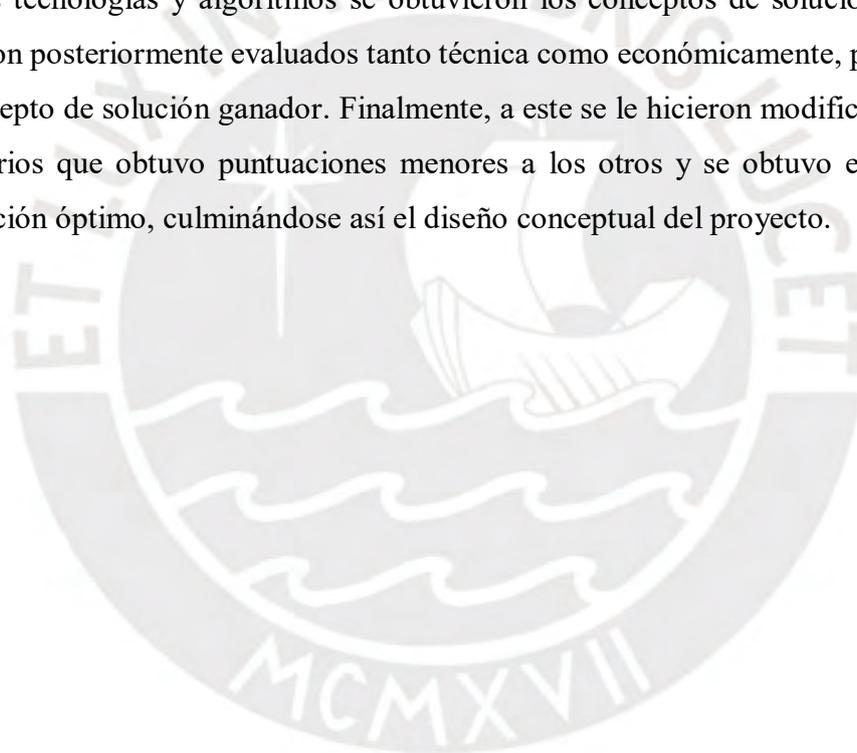
En la actualidad el Perú es uno de los países más grandes productores de harina de pescado a nivel mundial. Esto gracias a la anchoveta, la cual es la única especie permitida por el Ministerio de Producción para este fin (Sociedad Nacional de Pesquería, s.f.). Lo cual provoca un abuso del recurso, sin embargo, esa no es única causa que contribuye al alto grado de vulnerabilidad de la especie. A dicho factor, se le suman la baja biomasa del recurso, las grandes aglomeraciones del mismo en pocas zonas y cercanas a la costa (lo que provoca que grandes cantidades de peces sean fáciles de capturar de manera simultánea), la alta tasa de pesca de juveniles (especies de anchovetas que aún no han alcanzado la etapa adulta y, por ende, no se han reproducido todavía) y demás. De estas causas, una de las más resaltantes es la alta tasa de captura de juveniles. Esto debido a que actualmente no se cuenta con un método para la identificación de estos previo a la pesca del cardumen, es decir, no existe una manera de saber la cantidad de juveniles existentes en un cardumen detectado. Esto conlleva a que únicamente se pueda saber la cantidad de juveniles después de que el cardumen sea pescado, causando la muerte de muchas especies jóvenes. Sin embargo, cabe resaltar que hay métodos indirectos para reducir los casos de pesca de juveniles, tales como la captura de unos cuantos especímenes del cardumen y mediante ellos y métodos estadísticos estimar la población total de juveniles en el cardumen y, además, la prohibición de pesca en determinadas zonas y por temporadas en las cuales se sabe que la presencia de especies no adultas abunda.

Los problemas anteriormente mencionados suelen traer como consecuencia la prohibición del uso del recurso por un determinado periodo de tiempo debido al riesgo que corre la especie. Lo cual tiene un efecto negativo tanto en el ámbito económico como en el alimenticio. Por ello, el presente trabajo de investigación se centrará en desarrollar el diseño conceptual de un sistema mecatrónico capaz de estimar la cantidad de anchovetas jóvenes en un cardumen mediante técnicas de visión artificial. Para ello, se tomará un vehículo sumergible (ROV) prediseñado, al cual se le realizarán las modificaciones necesarias para cumplir con dicho propósito. El sistema contará con un sistema de visión e iluminación integrados al ROV con la finalidad de observar adecuadamente el cardumen bajo el mar. Dicho sistema enviará las imágenes a una estación en la embarcación, donde estas serán mostradas en tiempo real al usuario y a la vez grabadas. La transmisión en tiempo real le ayudará al usuario a guiar al vehículo hacia el cardumen, para que el sistema de visión los observe. Por otro lado, las imágenes recibidas en la estación en la embarcación serán procesadas mediante algoritmos de visión artificial para poder contabilizar la cantidad de juveniles, adultos y el total de anchovetas en el cardumen. Posteriormente, cuando se termine el procesamiento el usuario basado en dichos datos podrá tomar una mejor decisión sobre si se debe o no realizar la pesca de dicho cardumen.

En el primer capítulo se presenta la problemática, la propuesta de solución, los objetivos del proyecto, el alcance que tendrá, la metodología a seguir, el marco referencial, la identificación de clientes y el estado del arte. La problemática se desarrolla con el fin de poner en evidencia la alta vulnerabilidad de la anchoveta actualmente, y que no existen soluciones directas ante algunas de estas causas. En base a ello, se realiza la propuesta de solución, con sus objetivos y alcance correspondiente. Además, se explica la metodología que se seguirá para desarrollar dicha propuesta, presentándose en esta cada paso que se realizará. También, se realiza un marco referencial con la finalidad de conocer mejor información relevante para el diseño, tales como la forma de pesca de la anchoveta, las velocidades de los botes que se usan para esto, entre otros. Posterior a ello, se identifican adicionalmente posibles clientes para saber el beneficio que podrían obtener del proyecto y las posibles cualidades que ellos quisieran en este, como el tiempo que toma la obtención de los datos, la confiabilidad, el costo, etc. Finalmente, cuando ya se cuenta con toda esta información, se realiza el estado del arte para conocer los diseños, algoritmos o tecnologías

existentes relevantes para el proyecto. De esta manera, realizar el diseño de la mejor manera posible.

En el segundo capítulo se desarrolla el diseño conceptual del proyecto, el cual inicia con una lista de exigencias realizada en base a los posibles intereses de los clientes identificados. Luego, mediante la abstracción del concepto de solución se desarrolla una caja negra en la que se presentan las entradas y salidas del sistema, para que cumpla con su finalidad, y en base a esta, se realiza la estructura de funciones a detalle, mencionando y relacionando cada función que el sistema tiene que desempeñar. Posteriormente, se buscó tecnologías y algoritmos que puedan desempeñar las funciones requeridas y se las documentó en la matriz morfológica. De la mezcla de estas tecnologías y algoritmos se obtuvieron los conceptos de solución. Los cuales fueron posteriormente evaluados tanto técnica como económicamente, para obtener el concepto de solución ganador. Finalmente, a este se le hicieron modificaciones en los criterios que obtuvo puntuaciones menores a los otros y se obtuvo el concepto de solución óptimo, culminándose así el diseño conceptual del proyecto.



## **CAPÍTULO 1**

### **ANTECEDENTES**

En el presente capítulo, se realiza una explicación sobre las principales causas que contribuyen a la vulnerabilidad de la anchoveta, se especifica la causa que se desea atacar y los beneficios que se lograrían de conseguirse el objetivo. También se presenta la propuesta de solución ante dicho problema, sus objetivos y alcance. Además, se analiza a los posibles interesados en el proyecto y los usos que estos podrían darle. Finalmente, se elaboró el estado del arte para conocer sistemas, subsistemas y tecnologías existentes útiles para el proyecto.

#### **1.1 Desarrollo de la problemática**

El Perú lidera la producción de harina de pescado a nivel mundial con una exportación promedio aproximada de 867.1 mil toneladas, sin embargo, en el Perú oficialmente solo se producen en promedio alrededor de 800 toneladas por año (Carrere, 2019). La diferencia vendría a estar dada por pescas no permitidas y producción ilegal de harina de pescado y como la harina de pescado en el Perú solo se puede obtener de la anchoveta adulta (tamaño mayor a 12cm) por disposición del Ministerio de Producción (Sociedad Nacional de Pesquería, s.f.), significa que hay una gran sobreexplotación

del recurso de manera no legítima. Por ejemplo, entre los años 2015-2017 fueron producidas ilegalmente 90 mil toneladas de harina de pescado, según el informe de Apoyo Consultoría para la Superintendencia, las cuales se traducirían en 400 mil toneladas de anchoveta (Carrere, 2019).

Sin embargo, la pesca ilegítima de anchoveta no es la única causa que pone a dicha especie en un peligro inminente, pues esta especie también se ve afectada por causas naturales como la corriente del Niño, la cual atrae depredadores de anchovetas, disminuye el alimento y afecta las condiciones de vida de la anchoveta pues esta vive en aguas frías (OCEANA, 2017). Además, la especie presenta poca biomasa y esta se encuentra focalizada en pocos puntos ubicados dentro de las 10 primeras millas marítimas, lo cual facilita bastante a los pescadores obtener el capturar a la especie (OCEANA, 2016). Según el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) la población de esta especie en el año 2016 sería alrededor de 4.42 millones de toneladas, un valor 46% menor al promedio de los 22 anteriores años al 2016 en temporadas otoño-verano (OCEANA, 2016).

Sin embargo, una de las causas con más impacto en la vulnerabilidad de la anchoveta es el alto porcentaje de juveniles (especímenes que aún no se han reproducido) respecto a la población total, los cuales generalmente son identificados en los controles que IMARPE realiza a las capturas hechas por embarcaciones pesqueras. De estos controles y otros realizados con muestras tomadas propiamente por IMARPE, se encontró que en el año 2016 el 69% de la biomasa de anchovetas eran juveniles, no aptos para la pesca (OCEANA, 2017) y en el año 2017 se mostró un porcentaje de juveniles de 50% en la Región Sur (IMARPE, 2018). Al ser muchos de estos controles luego de la pesca, pues no existe tecnología alguna para hacer un muestreo justo antes de realizar esta actividad (RPP NOTICIAS, 2016), se dan casos en los cuales embarcaciones capturan un porcentaje de juveniles mayor al establecido por IMARPE, es decir, la cantidad de juveniles sobrepasa el 10% del total de peces capturados (MINISTERIO DE PRODUCCIÓN, 2015). Por ejemplo, en el 2014 el Ministerio de Producción (PRODUCE) incautó 2630 toneladas de anchovetas juveniles de 64 embarcaciones debido a que dichos navíos habían excedido el porcentaje de juveniles permitido (GESTIÓN, 2014).

Por el contrario, en los casos en que IMARPE ha identificado a tiempo las zonas con gran cantidad de juveniles y ha realizado su cierre respectivo, se ha logrado salvar enormes cantidades de juveniles. Como por ejemplo durante la primera temporada de pesca industrial en el año 2015, pues se logró identificar y cerrar 150 zonas de pesca con alta incidencia de juveniles, logrando salvar así aproximadamente 206 mil toneladas de anchovetas que aún no estaban aptas para la pesca (GESTIÓN, 2015).

Por ello, se orienta la propuesta de solución a un sistema mecatrónico capaz de observar cardúmenes de anchovetas y realizar una estimación de la cantidad aproximada de juveniles, así en caso de detectar un alto nivel de juveniles se podría prohibir la pesca en dicha zona con el fin de prevenir la captura de especies que aún no se reproducen y que no son aptas para producción de harina de pescado. De esta manera, se atenuaría una de las principales causas de la alta vulnerabilidad de la anchoveta, como lo es la pesca de juveniles.

## **1.2 Propuesta de solución**

Se propone un sistema mecatrónico portátil con la capacidad de sumergirse hasta los 50 metros bajo el nivel del mar y operar sin problemas hasta 80 kilómetros de la orilla. Esto con la finalidad de observar cardúmenes de anchovetas y estimar la cantidad de juveniles y adultos en dicha población. Para ello, se diseñará un sistema de visión especializado el cual será portado por un vehículo sumergible controlado remotamente (ROV), dicho vehículo será elegido según sus datos técnicos y modificado para que pueda llevar el sistema de visión. Con el conjunto se obtendrán videos cortos de los cardúmenes en movimiento y desde diferentes ángulos. Finalmente, mediante técnicas de visión se obtendrán las dimensiones de las especies y con ellas se podrá clasificarlas en juveniles o adultas según corresponda, tomando como base si las anchovetas superan la talla mínima o no.

## **1.3 Objetivos**

A continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto, así como los resultados que se esperan obtener durante o al final del diseño.

### Objetivo General:

- Diseñar un sistema mecatrónico sumergible para la medición automática de dimensiones de anchovetas, distinguiendo adultas de jóvenes, mediante técnicas de visión (artificial).

### Objetivos Específicos:

- Investigar sobre la problemática, el estado del arte, normas y protocolos relevantes para el diseño de la solución y leyes de pesca de anchovetas.
- Identificar a los posibles usuarios y realizar una lista de requerimientos de acuerdo a sus intereses y cuidando a la especie.
- Desarrollar la estructura de funciones del proyecto mediante la abstracción de este y organizar en ella la secuencia de operaciones que el sistema realizará.
- Realizar una matriz morfológica para obtener conceptos de solución ante el problema y evaluar dichos conceptos de solución mediante conceptos técnicos y económicos para identificar el concepto de solución óptimo.
- Diseñar la configuración mecánica del sistema (modificaciones necesarias a un ROV previamente diseñado) y realizar el modelado 3D.
- Diseñar los algoritmos de procesamiento de imágenes necesarios para la medición de las anchovetas.
- Diseñar el sistema de telecomunicaciones y el sistema de control de la propuesta (interacción entre sensores, actuadores y controladores) representándolos mediante un flujograma y un diagrama de operaciones.
- Evaluar los resultados de la solución con simulaciones o pruebas pequeñas.

### 1.4 Alcance

Se diseñará un sistema de visión especializado para la medición de las dimensiones de anchovetas basado en sistemas comerciales, patentes y tesis. Además, se seleccionará y modificará un ROV con la finalidad de acoplar dicho sistema a este vehículo. Sin embargo, no se realizará la implementación, pero sí simulaciones pequeñas con la finalidad de comprobar el funcionamiento del algoritmo de visión artificial.

## 1.5 Metodología

El presente proyecto seguirá la siguiente metodología:

- Se fijarán los objetivos y alcance que tendrá el proyecto, basados en ellos se desarrollará el estado del arte con la descripción de distintas tecnologías existentes, tanto para el sistema integral, como para cada subsistema requerido. La investigación se realizará dentro de modelos comerciales, tesis, patentes y artículos académicos. Posterior a la documentación de los sistemas y subsistemas encontrados se armarán tablas comparativas con la finalidad de conocer cuáles serían más relevantes y útiles para el desarrollo del proyecto.
- Los conceptos de solución serán obtenidos a partir del desarrollo de una lista de exigencias, de un diagrama de funciones y de una matriz morfológica. La lista de requerimientos contendrá todas las exigencias que debe cumplir el proyecto a diseñar, como la función principal, peso del equipo, profundidad de inmersión, fuente de energía, señales de control, procesamiento de imágenes, iluminación, etc. Por otro lado, el diagrama de funciones especificará la secuencia de operaciones que deberá cumplir el sistema en cada uno de los tres dominios: mecánico, eléctrico y control. Y, por último, la matriz morfológica contendrá las funciones que debe realizar el sistema y las tecnologías existentes con las cuales dichas funciones se pueden realizar, donde estas serán agrupadas serán criterios técnicos.
- El diseño electrónico comprenderá la selección de sensores y actuadores necesarios para el sistema y su operación remota desde una embarcación, así como el diagrama de conexiones entre estos.
- El diseño control comprenderá la definición detallada del algoritmo del sistema, así como el código necesario para realizar el procesamiento de imágenes.

- El diseño mecánico comprenderá la selección de un ROV y las modificaciones que este requiera (como por ejemplo cambios en la estructura para aumentar la cantidad de cámaras según sea necesario) para cumplir los objetivos del proyecto.
- Finalmente, la documentación incluirá los planos de ensamble y despiece, planos electrónicos y el código para el procesamiento de las imágenes, sin embargo, el proyecto no comprende la implementación del mismo, pero si incluye simulaciones pequeñas para comprobar el correcto funcionamiento del código de elaborado para contar y distinguir juveniles e adultos.

## 1.6 Marco referencial

A continuación, en el marco referencial, se explicarán algunos conceptos relevantes para el desarrollo del proyecto, tales como el lugar donde habitan las anchovetas, las condiciones ambientes de esos lugares, la actividad de la pesca misma y algunas normas que rigen esta.

### 1.6.1 Hábitat de las anchovetas y sus condiciones

La anchoveta, mostrada en la Figura 1.1, es un pez que habita en el sudeste del océano Pacífico, frente a costas de Perú y Chile (ECURED, s.f.), ubicándose principalmente hasta 80 kilómetros (50 millas) de la costa (Green Facts, s.f.). Además, esta especie nada en aguas superficiales durante la noche, sin embargo, durante el día con el fin de evitar depredadores desciende hasta profundidades de 50 metros (ECURED, s.f.). Por otro lado, las aguas en las que vive la anchoveta son particularmente frías, provenientes de la corriente de Humboldt, que varían entre los 14.5 a 20°C (Curi, 2007).



Figura 1.1: Anchoveta. Adaptado de (ECURED, s.f.).

Como en el desarrollo del proyecto se plantea distinguir entre anchovetas juveniles y adultas, se hace importante ver las etapas de crecimiento de la especie. Para ello, se muestran a continuación 2 fotos de varias anchovetas de diferentes tamaños, desde adultos (ver Figura 1.2) a juveniles (ver Figura 1.3).

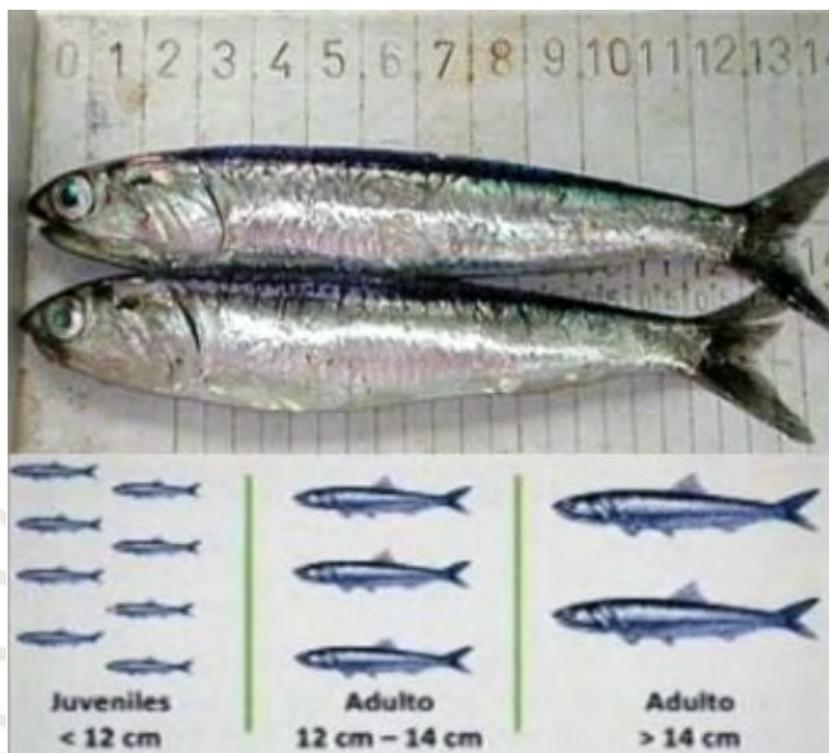


Figura 1.2: Anchovetas adultas. Adaptado de (FIS, 2020).



Figura 1.3: Anchovetas juveniles. Adaptado de (Foronda, 2017).

Como se puede observar, entre anchovetas juveniles y adultas, no existen diferencias resaltantes, a diferencia de la longitud.

### **1.6.2 Pesca de anchovetas**

En el Perú encontramos principalmente 2 tipos de pescas, la pesca artesanal y la pesca industrial. La primera es definida según la Ley General de Pesca (Ley N° 25977) como aquella labor realizada por personas naturales o jurídicas sin empleo de embarcación o con empleo de embarcaciones de hasta 32,6 metros cúbicos de capacidad de bodega y de hasta quince metros de eslora (longitud de una embarcación desde proa a popa), con predominio de trabajo manual, que tiene como objetivo principal la extracción de recursos hidrobiológicos para atender la demanda interna de pescado fresco o enfriado. Por otra parte, la pesca industrial está compuesta por empresas nacionales y/o extranjeras que poseen flotas de embarcaciones grandes que realizan la extracción a gran escala (Martínez, 2019).

Dentro de la pesca industrial podemos encontrar tres tipos, la pesca costanera, la pesca de altura y la pesca de gran altura (ESPESCA, s.f.). Dichas pescas están principalmente diferenciadas por el tamaño de barcos usados, la tecnología y la distancia con respecto a la costa a la cual se realizan.

La pesca costanera o de litoral es realizada en zonas próximas a la orilla (Boletín Agrario, s.f.), en la cual se usan barcos de pequeño o mediano tamaño, los cuales regresan a puerto cada día para dejar las capturas de jornadas (ESPESCA, s.f.). En cambio, en la pesca de altura las embarcaciones son de mayor tamaño y cuentan con mejor tecnología, por ejemplo, sistemas para congelar el pescado y de esta manera preservarlo durante su jornada en alta mar, la cual puede durar semanas o meses (ESPESCA, s.f.). Y, por último, en la pesca de gran altura se usan flotas de barcos y otros barcos de apoyo que les llevan provisiones, para que puedan estar más tiempo en altamar, esta práctica es principalmente realizada en países como Rusia o Japón (ESPESCA, s.f.). Para el caso de la anchoveta, vendría entrar dentro de la pesca costera

o de litoral, ya que, esta vive en zonas cercana a la orilla, como se mencionó anteriormente.

La anchoveta es pescada en el Perú con el método de pesca de cerco, el cual empieza después de haber detectado el cardumen, lo que en Perú es realizado generalmente mediante radares (OCEANA, 2017). El método de cerco consiste en empezar a soltar la red de pesca en un punto y bordear a los peces hasta cerrar el círculo, cuando se ha rodeado por completo el cardumen se cierra la parte inferior de la red y se tira de ella con los peces adentro. A continuación, en la Figura 1.4 se muestra el cardumen ya rodeado y posteriormente cuando la red se cierra.



Figura 1.4: Pesca de cerco. Adaptado de (La Mar Salao, 2013).

Cabe resaltar que en este tipo de pesca las redes presentan longitudes entre 250 a 1000 metros y 50 metros de altura (ESPESCA, s.f.).

### 1.6.3 Características de los barcos de pesca

Actualmente en Perú, la pesca de anchoveta se encuentra individualizada, por ende, realizada en barcos pequeños y medianos, como el mostrado en la Figura 1.5.



Figura 1.5: Barco para captura de anchoveta. Adaptado de (OCEANA, 2016).

Dicha pesca en nuestro país es realizada en mayor medida por empresas que pertenecen a la Sociedad Nacional de Pesquería (SNP), la cual es una entidad sin fines de lucro que agrupa empresas pesqueras y acuícolas peruanas que proveen al Perú y al mundo de ingredientes marinos, en menor medida por flotas independientes (Sociedad Nacional de Pesquería, s.f.), como se muestra en la Figura 1.6.

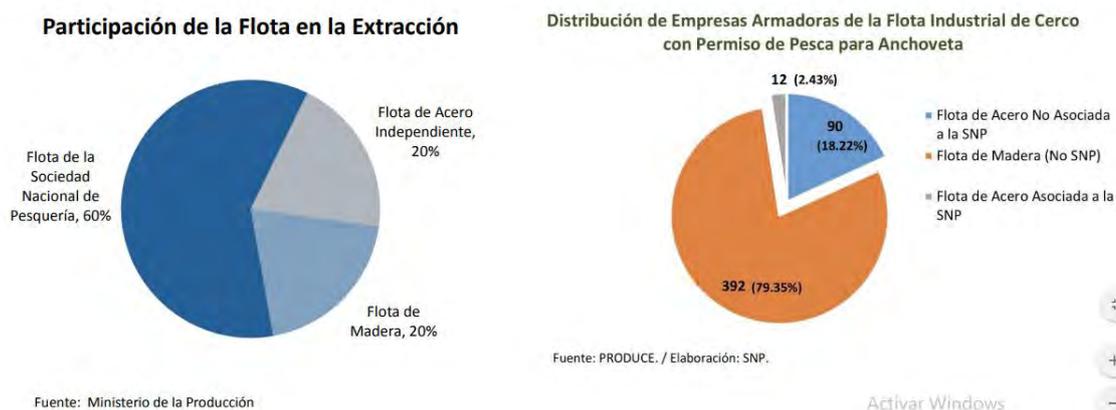


Figura 1.6: Distribución de la flota de extracción de anchoveta. Adaptado de (Sociedad Nacional de Pesquería, s.f.).

Entre las empresas agremiadas a la Sociedad Nacional Pesquera se encuentra la empresa pesquera TASA, en la cual nos centraremos para detallar características de los barcos para pesca de anchovetas.

Esta empresa es la mayor productora y exportadora de harina de pescado del mundo, siendo la anchoveta el recurso utilizado para sus productos (TASA, s.f.), contando con una flota de 48 barcos, los cuales poseen el Sistema de Identificación Automática (AIS), el cual es de uso obligatorio según ha establecido la Organización Marítima Internacional o OMI, por sus siglas en inglés (OCEANA, 2017). Este sistema permite ver la posición, rumbo y velocidad de una embarcación (NEPTUNO, s.f.). Sin embargo, en los barcos también son usados dispositivos como radares, girocompases, compases, cartas digitales, entre otros; pero a modo de complemento del sistema AIS, es decir, no lo reemplazan (OCEANA, 2017).

Los barcos de TASA cuentan con 4 velocidades, las cuales son monitoreadas mediante AIS, y son mostradas a continuación (OCEANA, 2017):

- 0 – 1.03 m/s (0 – 2 nudos: rojo)
- 1.03 – 2.06 m/s (2 – 4 nudos: naranja)
- 2.06 – 6.17 m/s (4 – 12 nudos: verde)
- > 6.17 m/s (> 12 nudos: azul)

Entre estas velocidades se resalta el color rojo y naranja, que representan velocidades bajas, estas señales indican que el barco está pescando o que la embarcación está realizando maniobras, respectivamente (OCEANA, 2017).

Además, cabe resaltar que los barcos usados por IMARPE, embarcaciones pequeñas como se observa en la Figura 1.7, presentan velocidades de 2.06 m/s (2 nudos), 2.57 m/s (5 nudos) y 4.12 m/s (8 nudos), dependiendo del tipo de embarcación. En la Figura 1.7 se muestra la embarcación de IMARPE llamada IMARPE IV, que presenta una eslora de 16.5 metros y una velocidad de 4.12 m/s (IMARPE, s.f.).



Figura 1.7: Barco para captura de anchoveta. Adaptado de (IMARPE, s.f.).

### 1.6.4 Dimensiones de los cardúmenes de anchovetas

Es importante conocer el tamaño de los cardúmenes a trabajar debido a que dichas dimensiones será una de las herramientas que nos ayudará a calcular la resolución que mínima que se necesitaría para estimar el tamaño de los peces adecuadamente.

A continuación, se mostrarán dos trabajos realizados para dimensionar cardúmenes de anchovetas, uno realizado en Perú y otro realizado en Chile, presentando ambos resultados similares. En primer lugar, se presenta la investigación realizada por el Instituto Humboldt de Investigación Marina y Acuícola (IHMA), instituto peruano, donde observan la morfología externa e interna del cardumen de anchovetas mediante instrumentos acústicos (Gerlotto, s.f.). En la Figura 1.8 se muestra la imagen que ellos obtienen mediante el sonar usado para el estudio.

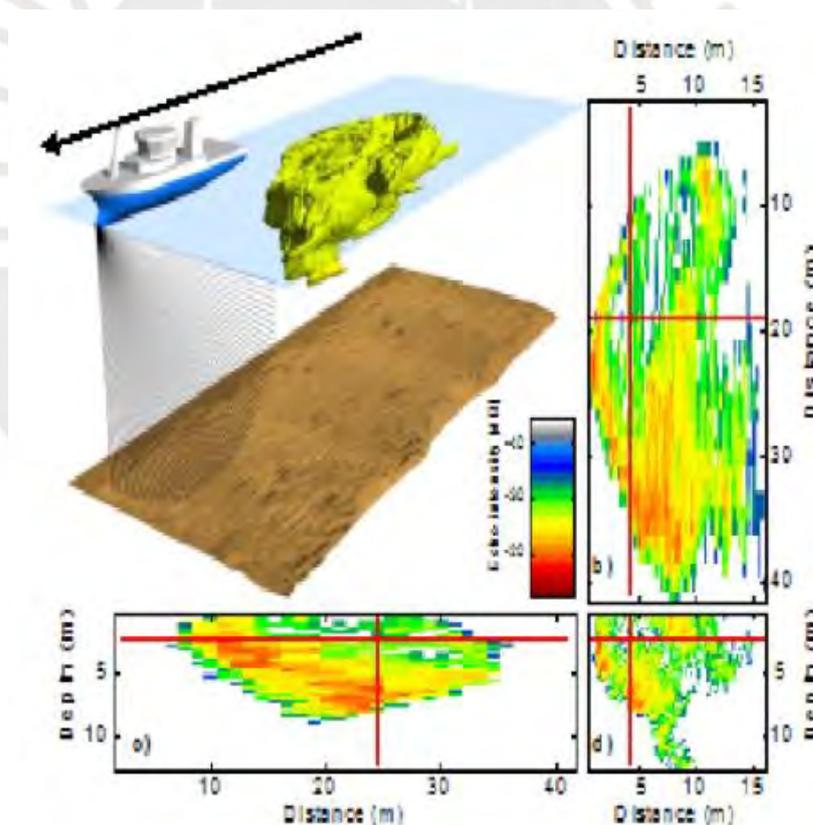


Figura 1.8: Morfología externa e interna de un cardumen de anchovetas. Adaptado de (Gerlotto, s.f.).

En segundo lugar, se presenta el trabajo realizado por investigadores de la Universidad Diego Portales y el Instituto de Fomento Pesquero. En este caso, han realizado la clasificación de cardúmenes de anchoveta y de sardina común con la ayuda de equipos

acústicos para dimensionar el cardumen, y máquinas de soporte vectorial para la diferenciación entre estas especies (Robotham, Bosch, Castillo, & Tapia, 2012). En la Figura 1.9 se muestran los descriptores usados.

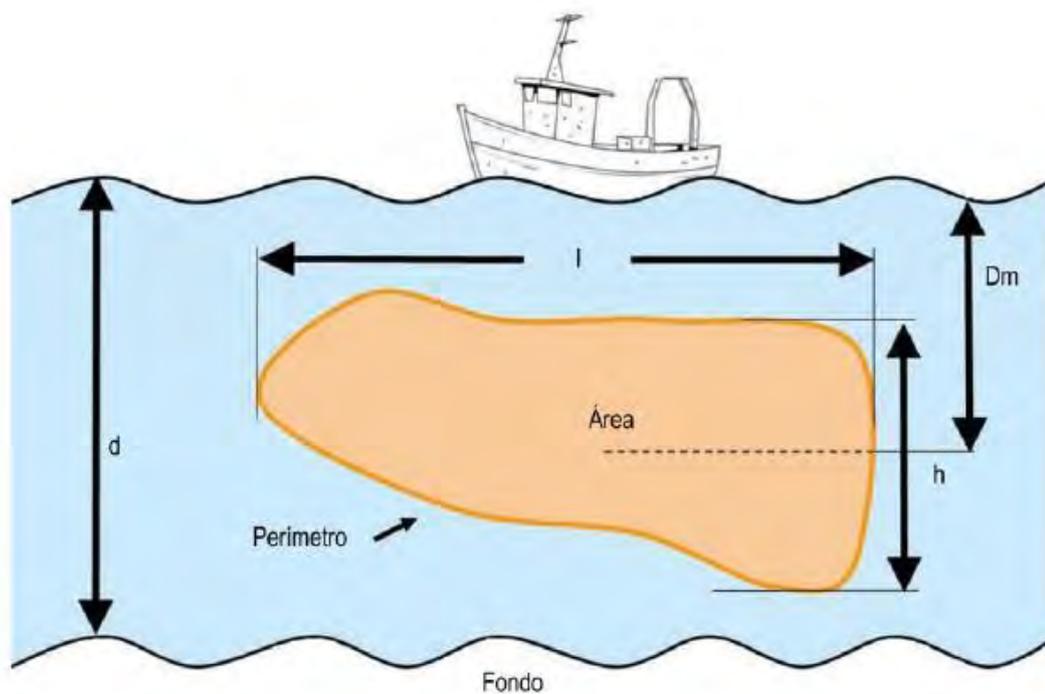


Figura 1.9: Descriptores del cardumen de anchovetas. Adaptado de (Robotham, Bosch, Castillo, & Tapia, 2012).

Y a continuación, en la tabla 1.1 se muestran los resultados que obtuvieron.

Tabla 1.1: Dimensiones del cardumen de anchovetas. Adaptado de (Robotham, Bosch, Castillo, & Tapia, 2012).

| Descriptores acústicos                              | Xmin      |               | Xmax      |               | $\bar{x}$ |               | S(y)      |               | CV(X)     |               |
|---|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
|   | Anchoveta | Sardina común |
| Altura media (m)                                    | 1,2       | 1,2           | 15,2      | 14,8          | 3,61      | 3,41          | 2,17      | 2,1           | 0,6       | 0,62          |
| Largo (m)   | 3,58      | 1,65          | 2.474,08  | 1.368,23      | 38,53     | 47,74         | 153,11    | 131,23        | 3,97      | 2,75          |
| Perímetro (m)                                       | 10,11     | 7,19          | 4.957,61  | 3.646,83      | 91,73     | 127,75        | 308,19    | 357,56        | 3,36      | 2,8           |
| Área (m <sup>2</sup> )                              | 2,82      | 2,5           | 12.161,18 | 13.196,16     | 153,85    | 275,03        | 839,85    | 1.316,64      | 5,46      | 4,79          |
| Elongación  | 1,1       | 0,8           | 434,5     | 148           | 10,6      | 12,05         | 26,4      | 18,36         | 2,49      | 1,52          |
| Dimensión fractal                                   | 1,01      | 1,02          | 1,79      | 1,74          | 1,3       | 1,34          | 0,13      | 0,15          | 0,1       | 0,11          |
| Profundidad de fondo (m)                            | 23        | 35            | 703       | 328           | 111,48    | 71,98         | 95,83     | 31,52         | 0,86      | 0,44          |
| Profundidad cardumen (m)                            | 7,9       | 7,8           | 54,9      | 60,6          | 12,29     | 22,51         | 6,92      | 19,44         | 0,56      | 0,86          |
| Índice altitud                                      | 2,35      | 1,44          | 98,07     | 96,55         | 79,23     | 62,89         | 18,78     | 35,46         | 0,24      | 0,56          |
| Energía acústica (m <sup>2</sup> mn <sup>-3</sup> ) | 9,53      | 10,64         | 22.291,97 | 371.894,70    | 1.126,41  | 4.989,83      | 2.306,55  | 22.461,88     | 2,05      | 4,5           |
| Densidad acústica (1 mn <sup>-2</sup> )             | 0,01      | 0,02          | 163,45    | 265,87        | 11,59     | 20,06         | 13,74     | 22,62         | 1,19      | 1,13          |
| Distancia costa (mn)                                | 1,04      | 0,83          | 17,17     | 20,41         | 7,05      | 3,94          | 5,19      | 3,48          | 0,74      | 0,88          |

De ambos trabajos se puede rescatar que los cardúmenes de anchovetas tienen dimensionadas en 15 x 30 x 15 metros y 38.5 x 3.6 metros, según el IHMA y según los investigadores de la Universidad Diego Portales y el Instituto de Fomento Pesquero

respectivamente. Por ello, para el presente trabajo se estimará el tamaño de los cardúmenes en 15 x 35 x 10 metros.

### **1.7 Identificación de clientes**

Para este proyecto en específico se identificaron principalmente dos tipos de posibles clientes u interesados.

En primer lugar, se encuentran empresas del estado que tienen como función velar por el desarrollo de la acuicultura en aguas marinas o continentales. Dentro de dichas empresas se encuentra principalmente el Ministerio de Producción (PRODUCE) con sus organismos públicos descentralizados como el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), el Instituto Tecnológico Pesquero (ITP), el Fondo de Desarrollo Pesquero (FONDEPES), la entidad de Direcciones y Subdirecciones de Producción, entre otras instituciones. En este caso, para ellos el proyecto les ayudaría a mejorar los monitoreos de la biomasa de anchoveta, ya que con la propuesta se podrían realizar controles más precisos debido a que se evaluaría al total del cardumen y no una muestra que posteriormente se extrapola mediante métodos estadísticos para obtener una aproximación de la cantidad de juveniles en la población, que es lo que actualmente realizan las instituciones anteriormente mencionadas. Además, el proyecto no afectaría a las especies marinas, ya que para la obtención de datos es únicamente a partir del procesamiento de la filmación de las especies, es decir, ya no se tendría que pescar las especies para obtener los datos.

Por otro lado, se encuentran las empresas productoras de harina de pescado, las cuales podrían aprovechar de mejor manera el recurso mediante el proyecto, pues con el sistema propuesto podrían identificar cardúmenes con gran cantidad de anchovetas adultas y así aumentar su producción de harina de pescado sin la necesidad de realizar pescas adicionales. Esto gracias a que las anchovetas adultas por su tamaño poseen mayor contenido de parte sólida (pez sin agua, sin aceites y sin grasa) que los juveniles, parte del pescado de la cual se obtiene la harina de pescado (Sociedad Nacional de Pesquería, s.f.). Además, como con el sistema podrían evitar la captura de juveniles se les facilitaría respetar el margen de 10% puesto por IMARPE (MINISTERIO DE PRODUCCIÓN, 2015).

## 1.8 Estado del arte

En esta sección se realiza la búsqueda de sistemas integrales, subsistemas y tecnologías, con el fin de analizar imágenes de cardúmenes de anchovetas como las mostrada en la Figura 1.10 y 1.11, donde en la Figura 1.8 las anchovetas se encuentran desplazándose y en la Figura 1.11 se encuentran juntas debido a que temen la presencia de depredadores.



Figura 1.10: Cardumen de anchoveta en movimiento. Adaptado de (HAYDUK, s.f.)



Figura 1.11: Cardumen de anchoveta ante presencia de depredadores. Adaptado de (ZONA CURIO, s.f.)

## 1.8.1 Sistemas integrales

A continuación, se presentarán sistemas completos con alto grado de semejanza a la propuesta o que contengan los módulos necesarios para el proyecto. La búsqueda se realizó en artículos académicos, tesis y patentes.

### 1.8.1.1 S.I. Artículos académicos

#### Estimación automática del peso y longitud de peces mediante técnicas de visión por computador

En este proyecto se han explorado técnicas para calcular longitud y peso de los peces de forma rápida y automática (Rosentiehl, 2017). Entre dichas técnicas se hace uso de algoritmos de visión inteligente y algoritmos que usan la estructura del pez. A continuación, se muestra la Figura 1.12, que fue citada en Rosentiehl (como se cita en Rosentiehl, 2017).

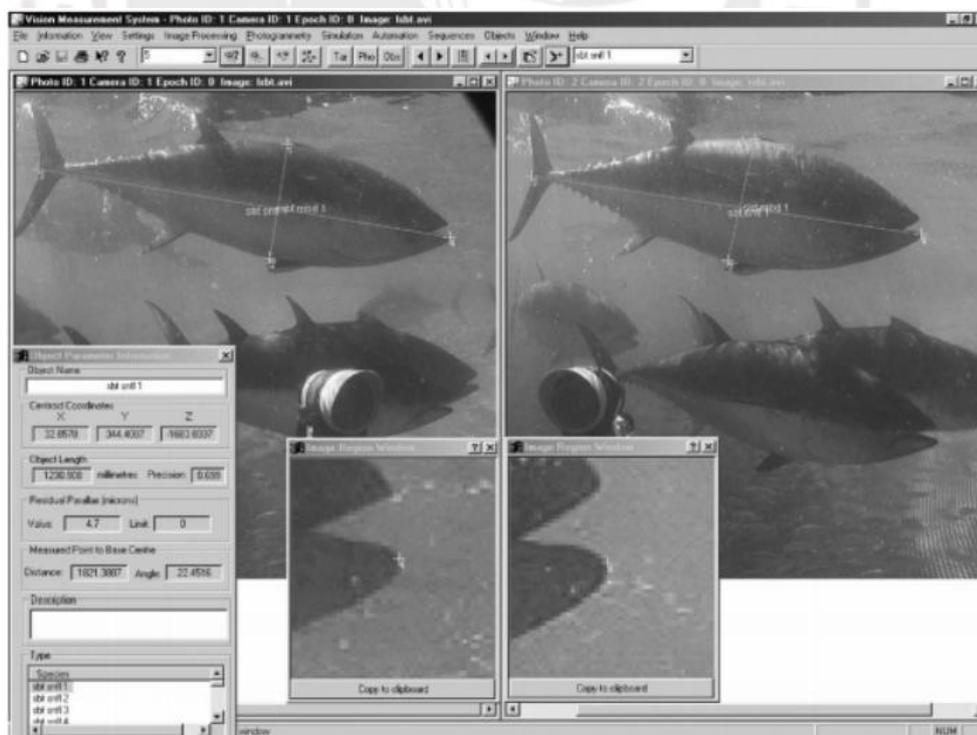


Figura 1.12: Línea a lo largo del pez según su estructura. Adaptado de (Rosentiehl, 2017).

### **Sistema de detección y medición de peces en nubes de puntos para escalas de peces de hendidura vertical**

En este trabajo se realizó la detección, medición y seguimiento de peces en entornos acuáticos y con baja luminosidad (Rico-Díaz, Pallas, Rabuñal, & Puertas, 2017). Para ello, se usó un controlador 3D, el cual genera una nube de puntos que representa la superficie visible de la escena. La medición se realizó con 1cm de margen de error y también se notó que en ciertas posiciones era difícil detectar los peces. Sin embargo, las mediciones obtenidas son bastante precisas.

El controlador usado es llamado Kinect, siendo este un controlador de juegos, que es capaz de reconocer gestos, comandos de voz, objetos e imágenes (Rud, 2010). Este dispositivo cuenta con una cámara, un sensor de profundidad y un procesador personalizado, de todo el cuerpo en movimiento 3D. Por ello, este dispositivo mostrado en la Figura 1.13 es usado para identificación y seguimiento de objetos. Además, algunos códigos usados por este equipo son de código abierto.

A continuación, en la Figura 1.14 se presenta la identificación de los peces realizada en este trabajo y en la tabla 1.2 se muestra la toma de mediciones realizada comparada con las medidas reales, observándose la gran precisión del sistema.



Figura 1.13: Cámara con visión 3D. Adaptado de (Rud, 2010).

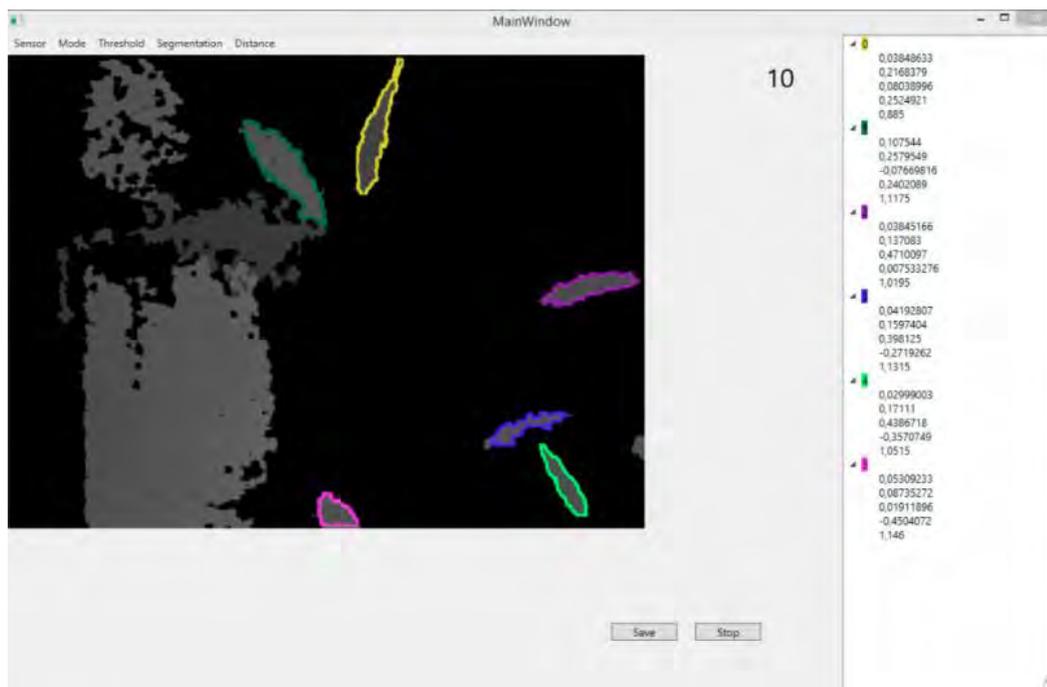


Figura 1.14: Identificación de peces. Adaptado de (Rico-Díaz, Pallas, Rabuñal, & Puertas, 2017).

Tabla 1.2: Comparación de medidas reales y las obtenidas con el sistema. Adaptado de (Rico-Díaz, Pallas, Rabuñal, & Puertas, 2017).

|               | Nº de frames | Medida real (mm) | Medida del Sistema (mm) |
|---------------|--------------|------------------|-------------------------|
| Experimento 1 | 43           | 110 x 30         | 111 x 24                |
| Experimento 2 | 29           | 110 x 30         | 111 x 29                |
| Experimento 3 | 33           | 110 x 30         | 113 x 31                |
| Experimento 4 | 49           | 110 x 30         | 112 x 31                |
| Experimento 5 | 46           | 110 x 30         | 114 x 31                |
| Experimento 6 | 29           | 110 x 30         | 111 x 30                |
| Experimento 7 | 60           | 100 x 32         | 102 x 28                |

### 1.8.1.2 S.I. Patentes

#### **Fish body dimension and weight rapid acquisition apparatus and acquisition method**

**Patente China Nro.: CN105066885A**

La presente invención se refiere a un aparato de adquisición rápida de dimensiones y peso del pez (China Patente nº CN105066885A, 2015). El sistema, como se muestra

en la Figura 1.15, consiste en un dispositivo de sujeción y un objeto cuyas medidas son conocidas. De esta manera, cuando se toma la fotografía del pez y del objeto de referencia se puede obtener mediante cálculos las dimensiones del animal. Además, el sistema cuenta con una balanza electrónica en la parte inferior que le permite estimar el peso del individuo.

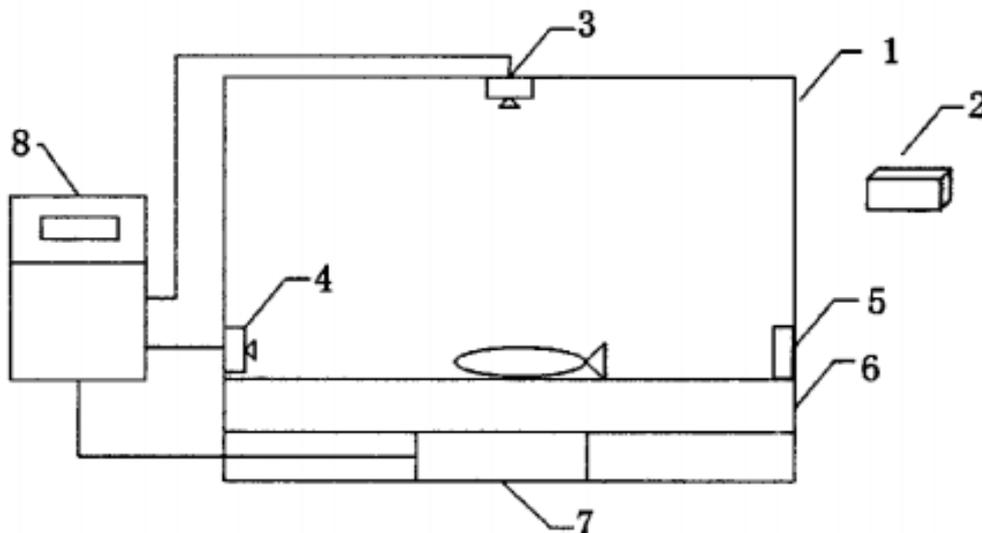


Figura 1.15: Sistema para obtención de dimensiones y peso de un pez. Adaptado de (China Patente nº CN105066885A, 2015).

### **Method measuring fish number based on stereovision and pattern recognition system adopting the same**

**Patente Surcoreana Nro: KR2015069739A**

El presente sistema es para medir la población de peces y la contaminación del ambiente en el que viven, usando visión estereoscópica (Corea del Sur Patente nº KR20150069739A, 2013). La práctica consiste en mediante una cámara ubicada en la parte superior del tanque (ver Figura 1.16), distinguir los grupos de peces, contar cuantas especies hay en cada grupo, sumar las cantidades para determinar la cantidad total y basados en la distancia que hay entre cada grupo determinar la contaminación del ambiente. Además, en la Figura 1.17 se muestra el resultado del reconocimiento de los peces.

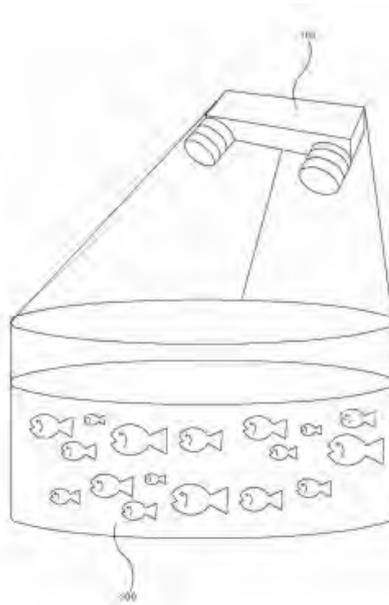


Figura 1.16: Tanque con cámara de visión estereoscópica. Adaptado de (Corea del Sur Patente n° KR20150069739A, 2013).

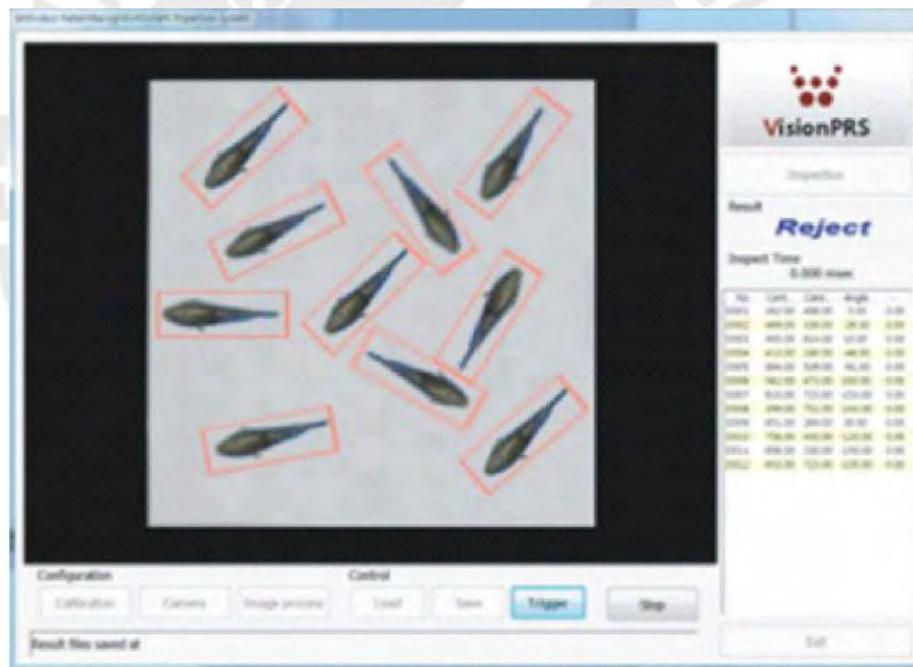


Figura 1.17: Reconocimiento de peces en el tanque. Adaptado de (Corea del Sur Patente n° KR20150069739A, 2013).

**System and method for calculating physical dimensions for freely movable objects in water**

**Patente de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO):**

WO2014098614A1

Este es un método y sistema para calcular las dimensiones de los objetos que se mueven libremente en el agua (Patente n° WO2014098614A1, 2012). Iluminar el objeto y registrar el patrón de luz proyectado con una cámara 2D provista de filtros o sensores, y a partir de ello se realiza un modelo 3D para calcular las dimensiones físicas. A continuación, en la Figura 1.18 se muestra el sistema observando a un pez y en la Figura 1.19 se muestra el sistema instalado.

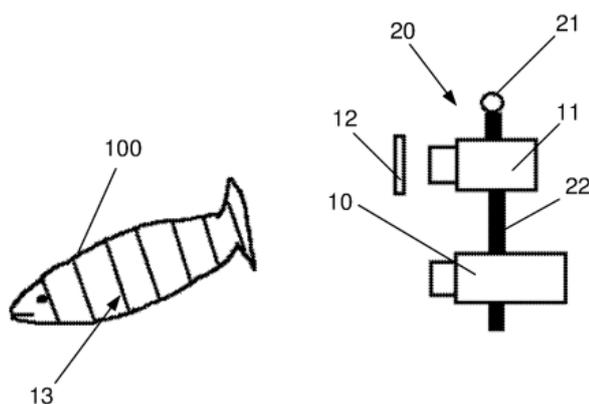


Figura 1.18: Reconocimiento de peces en el tanque. Adaptado de (Patente n° WO2014098614A1, 2012).

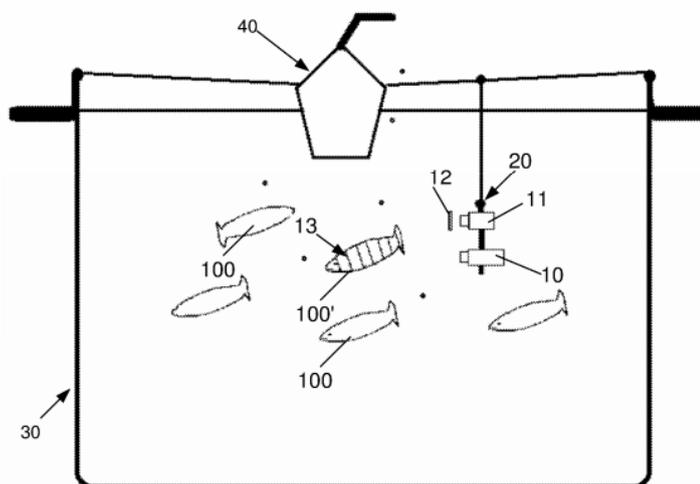


Figura 1.19: Reconocimiento de peces en el tanque. Adaptado de (Patente n° WO2014098614A1, 2012).

### 1.8.1.3 S.I. Tesis

**Diseño y desarrollo de un algoritmo que permita estimar el tamaño de peces, aplicando visión por computadora, y propuesta para realizar la selección adecuada de dichos peces**

En esta tesis se realiza la toma de imágenes de peces aislados, y mediante técnicas de procesamiento de imágenes se encuentra la mayor distancia dentro del pez (Orellana, 2008). Las medidas obtenidas se muestran en la tabla 1.3, donde se observa que tienen un margen de error de menor a 1cm, sin embargo, las longitudes reales puestas en la tabla, según dice el trabajo de tesis, presentan un margen de error  $\pm 0.5\text{cm}$ . No obstante, el grado de precisión recomendable por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura para peces entre 10 a 25 cm es de 0.5 cm (Gulland & Rosenberg, 1992). A continuación, en la Figura 1.20, se muestra una de las mediciones realizadas a la foto de un pez.

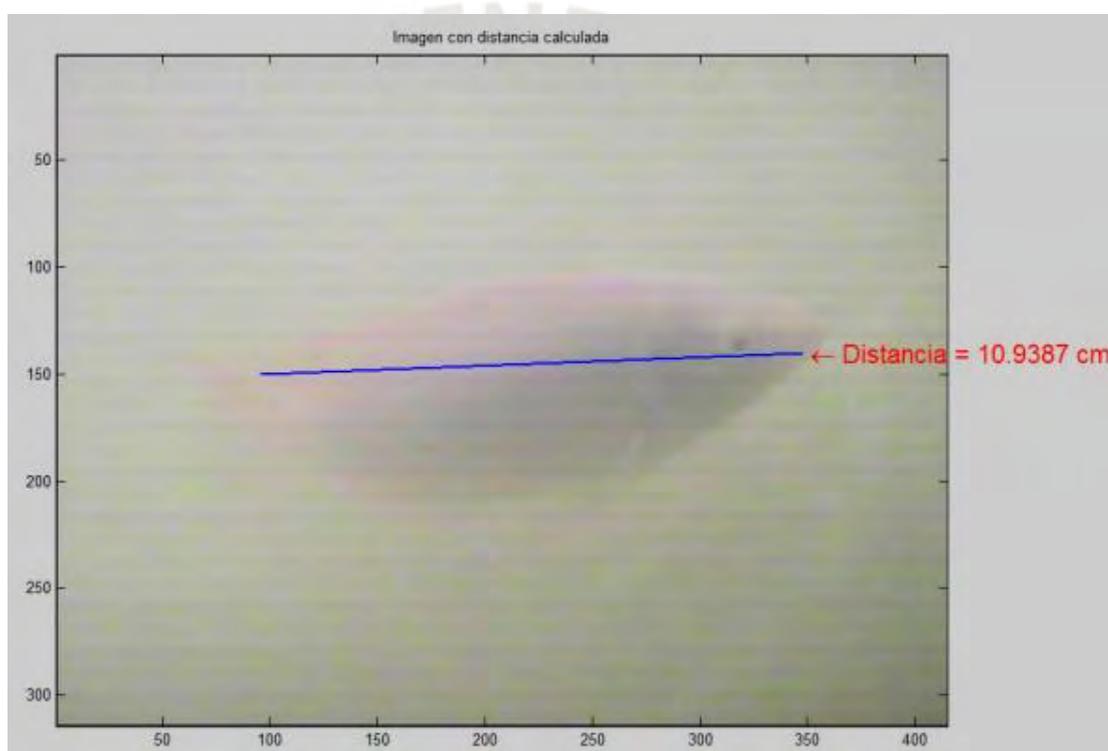


Figura 1.20: Longitud obtenida del pez. Adaptado de (Orellana, 2008).

Tabla 1.3: Comparación de técnicas basadas en modelos. Adaptado de (Orellana, 2008).

| IMAGEN       |                                      | Prueba Experimental                     |                            |
|--------------|--------------------------------------|---|----------------------------|
| Experimental | Longitud Real <sup>(*)</sup><br>(cm) | Longitud Medida <sup>(**)</sup><br>(cm) | Porcentaje de error<br>(%) |
| 01           | 16.0                                 | 15,1074                                 | 5.58                       |
| 02           | 16.5                                 | 17,3134                                 | 4.93                       |
| 03           | 15.5                                 | 14,8414                                 | 4.25                       |
| 04           | 16.0                                 | 15.1513                                 | 5.30                       |
| 05           | 14.0                                 | 13.2488                                 | 5.37                       |
| 06           | 12.0                                 | 10.9387                                 | 8.84                       |

### Seguimiento visual y reconstrucción 3D de múltiples peces en peceras

En esta tesis se diseñó e implementó un sistema capaz de realizar el seguimiento visual de peces dentro de una pecera y la futura reconstrucción del movimiento 3D que estos realizan (Miñarro, 2011). En la Figura 1.21, observamos el procedimiento que siguen para la obtención de la silueta del pez, notando que realizan una resta entre la imagen que obtienen con el pez y la imagen únicamente de la pecera, obteniendo una imagen diferenciada la cual es posteriormente umbralizada, mostrándose el resultado en la parte c) de dicha figura. Finalmente, una vez identificado el pez realizan el procedimiento repetidas veces para poder seguirlo, como se observa en la Figura 1.22.

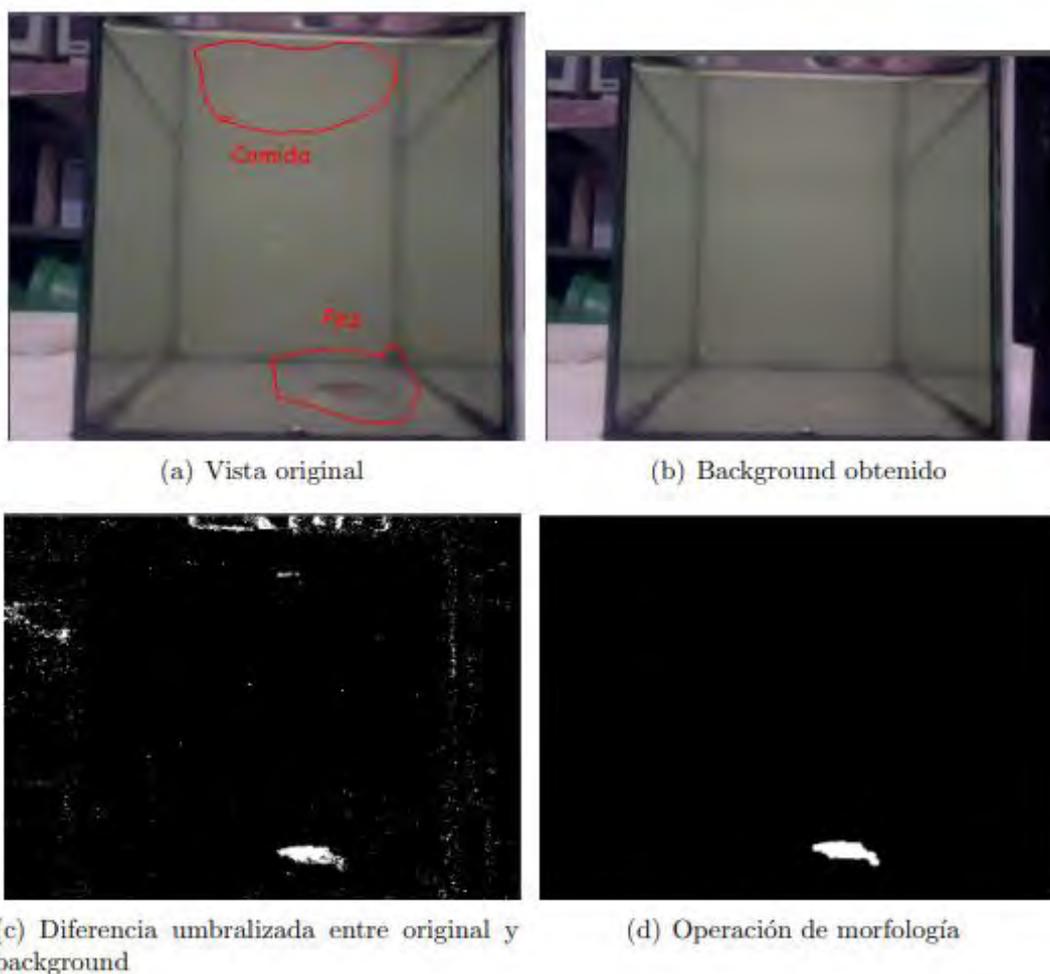


Figura 1.21: Procedimiento para obtención de la silueta del pez. Adaptado de (Miñarro, 2011).

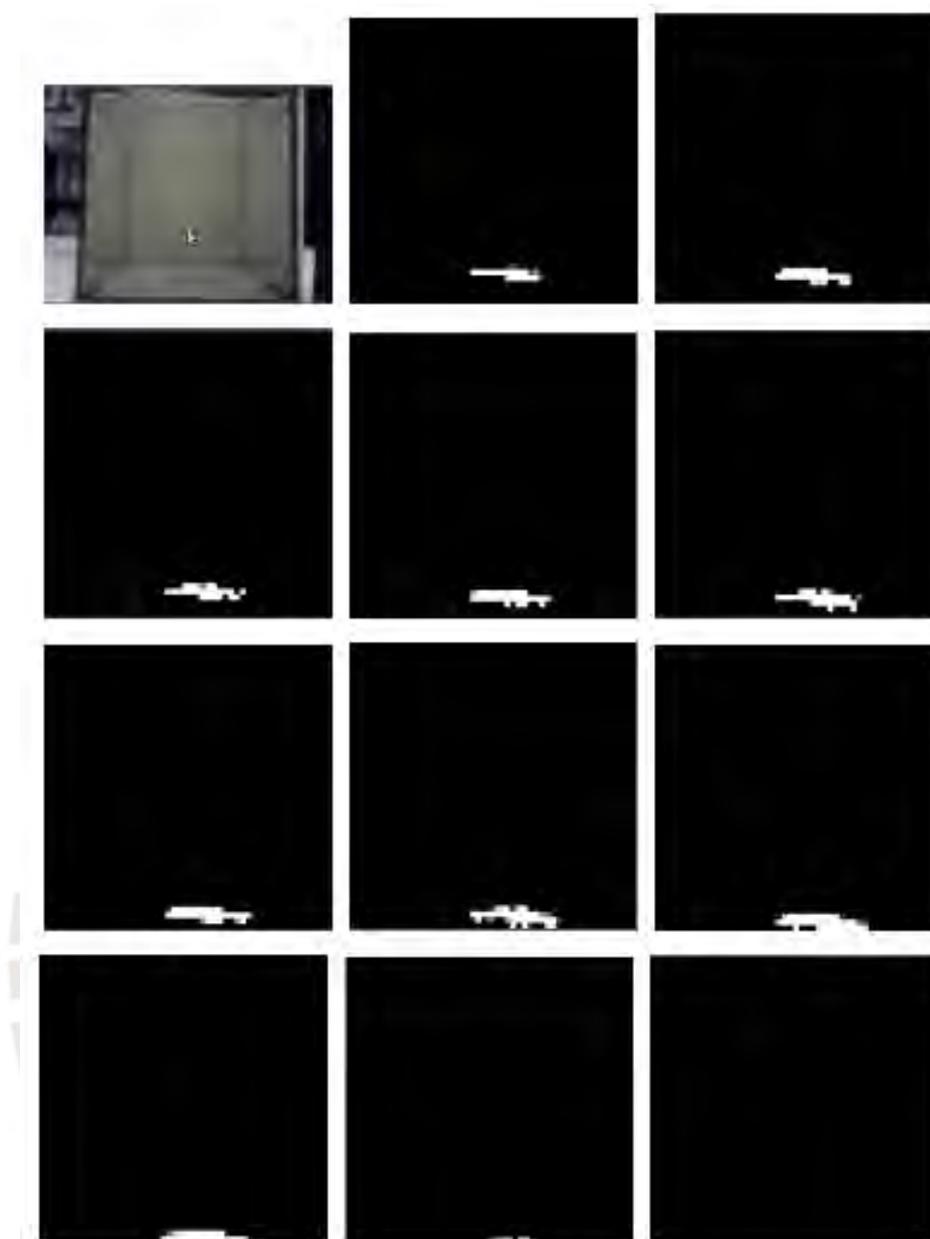


Figura 1.22: Seguimiento del pez previamente identificado. Adaptado de (Miñarro, 2011).

### **Comparación entre sistemas integrales**

Se realizó una comparación entre los sistemas integrales mostrados, con la finalidad de identificar en que puntos un proyecto sería más útil que el otro. El registro se realizó mediante la tabla de comparación 1.4, en dicha tabla se consideraron las siguientes abreviaciones:

- S.I.1: Estimación automática del peso y longitud de peces mediante técnicas de visión por computador.

- S.I.2: Sistema de detección y medición de peces en nubes de puntos para escalas de peces de hendidura vertical.
- S.I.3: Fish body dimension and weight rapid acquisition apparatus and acquisition method.
- S.I.4: Method measuring fish number based on stereovision and pattern recognition system adopting the same.
- S.I.5: System and method for calculating physical dimensions for freely movable objects in water.
- S.I.6: Diseño y desarrollo de un algoritmo que permita estimar el tamaño de peces, aplicando visión por computadora, y propuesta para realizar la selección adecuada de dichos peces.
- S.I.7: Seguimiento visual y reconstrucción 3D de múltiples peces en peceras.

Tabla 1.4: Tabla comparativa de los subsistemas de identificación. Elaboración propia.

| Características                              | Sistemas Integrales |       |              |          |              |       |          |
|--|---------------------|-------|--------------|----------|--------------|-------|----------|
|  | S.I.1               | S.I.2 | S.I.3        | S.I.4    | S.I.5        | S.I.6 | S.I.7    |
| Adaptabilidad del sistema al ambiente marino | Alto                | Medio | Bajo         | Bajo     | Media        | Alta  | Baja     |
| Cantidad de peces analizados a la vez        | 1                   | 2     | 1            | 10       | 1            | 1     | 1        |
| Precisión en la identificación de peces      | Alta                | Medio | No hay datos | Alta     | No hay datos | Alta  | Baja     |
| Precisión en la medición de longitud         | No hay datos        | 10 mm | No hay datos | No miden | No hay datos | 1 cm  | No miden |
| Seguimiento del pez                          | No                  | Sí    | No           | No       | No           | No    | Sí       |
| Costo (basado en los instrumentos usados)    | -                   | Medio | Medio        | Bajo     | Medio        | -     | Bajo     |

## 1.8.2 Subsistema de identificación

### Detección y clasificación de objetos dentro de un salón de clases empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes

La presente tesis es para el reconocimiento automático de objetos, inicialmente pensado para ayudar a personas invidentes; pero finalmente implementado en un salón de clases (García, 2008). Dentro del trabajo, se identificó los componentes por diversos métodos, entre ellos la clasificación por color. En la tabla 1.5, se muestra la cantidad de aciertos y errores de los análisis.

Tabla 1.5: Resultados de la clasificación según color. Adaptado de (García, 2008).

| <b>CLASIFICACIÓN POR COLOR</b> |                            |                 |                |
|--------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|
| <b>OBJETO</b>                  | <b>CANTIDAD DE OBJETOS</b> | <b>ACIERTOS</b> | <b>ERRORES</b> |
| <i>Lápiz</i>                   | 24                         | 18              | 6              |
| <i>Pluma</i>                   | 24                         | 22              | 2              |
| <i>Sacapuntas</i>              | 24                         | 24              | 0              |
| <i>Diurex</i>                  | 24                         | 18              | 6              |
| <i>Borrador</i>                | 24                         | 24              | 0              |
| <i>Calculadora</i>             | 24                         | 21              | 3              |
| <i>Corrector</i>               | 24                         | 20              | 4              |
| <i>Goma</i>                    | 24                         | 24              | 0              |
| <i>Resistol</i>                | 24                         | 13              | 11             |
| <i>Marcador</i>                | 24                         | 24              | 0              |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>240</b>                 | <b>208</b>      | <b>32</b>      |
| <b>PORCENTAJE</b>              |                            | <b>86.66%</b>   | <b>13.13%</b>  |

### Localización de objetos en imágenes mediante técnicas de aprendizaje profundo

Este trabajo está centrado en la detección de violines en imágenes, mediante técnicas de visión de aprendizaje profundo (Ayestarán, 2018). En este caso se usa el método de valor umbral (thresholding), consiguiéndose una eficiencia máxima de 64.10%, como se muestra en la tabla 1.6. Adicionalmente, en la Figura 1.23, se muestran algunas de las imágenes con las cuales se realizaron las pruebas, con un valor de thresholding de 40.

Tabla 1.6: Precisión obtenida para algunos valores de thresholding. Adaptado de (Ayestarán, 2018).

| Valor de thresholding | Precisión obtenida |
|-----------------------|--------------------|
| 12                    | 25,64 %            |
| 30                    | 48,71 %            |
| 40                    | 61,54 %            |
| 42                    | 58,97 %            |
| 45                    | 64,10 %            |
| 50                    | 64,10 %            |
| 60                    | 43,59 %            |



Figura 1.23: Identificación de violín con un de valor de thresholding de 40. Adaptado de (Ayestarán, 2018).

## Comparación entre subsistemas de identificación

Se realizó una comparación entre los subsistemas de identificación mostrados, con la finalidad de identificar en que puntos un proyecto sería más útil que el otro. El registro se muestra en la tabla 1.7, presentada a continuación.

Tabla 1.7: Tabla comparativa de los subsistemas de identificación. Elaboración propia.

| Características                                     | Subsistemas de identificación   |   |
|---|---|---|
|   | Detección y clasificación de objetos en un salón de clases mediante empleando técnicas de procesamiento de imágenes | Localización de objetos en imágenes mediante técnicas de aprendizaje profundo |
| Métodos usados                                      | Color, textura y rasgos geométricos del objeto  | Deep learning, mapas de calor y segmentación semántica                        |
| Precisión   | 86.66%  | 64.10%  |
| Pruebas con baja iluminación                        | Sí  | No  |
| Tamaño de los objetos identificados (ancho x largo) | Menor a 5x20cm  | Menor a 35x50 cm  |

### 1.8.3 Subsistema de medición

#### Aplicaciones de celular para medir objetos usando realidad aumentada

Actualmente, existen aplicaciones para móviles con la capacidad para medir objetos únicamente con la cámara del celular, sin embargo, estas aplicaciones tienen algunas condiciones, ventajas y puntos a mejorar. Por ejemplo, si tomamos la app de Google llamada measure, entre sus condiciones se puede notar que el objeto debe estar estático; entre sus ventajas, el alto grado de precisión que se obtienen en las mediciones y entre sus puntos a mejorar, que para las aplicaciones es difícil encontrar superficies, lo que provoca que a veces sea complicado realizar la medición (Álvarez, 2018). A continuación, en la Figura 1.24 se muestra una imagen de la aplicación en funcionamiento.



Figura 1.24: Aplicación measure en funcionamiento. Adaptado de (Álvarez, 2018).

#### 1.8.4 Subsistema de movilidad

##### DexROV

El vehículo sumergible DexROV mostrado Figura 1.25 tiene la capacidad de realizar trabajos alrededor de los 1300 metros de profundidad, cuenta con 2 cámaras que proporcionan una visión estereoscópica del fondo marino y un brazo robótico (Euronews, 2017). Dicho brazo robótico posee tres dedos y está ubicado en el lado derecho, este es controlado remotamente desde una estación en tierra, esto gracias a que el barco está conectado a un satélite igual que dicha estación. Debido a que la distancia entre la estación en tierra y el ROV es muy grande la transición de información puede ser lenta, por lo que el ROV está siendo diseñado para que sea relativamente autónomo y pueda actuar bajo el agua sin la necesidad de un control en tiempo real, sin embargo, este modo de operación aún está en periodos de pruebas. A continuación, adicional al ROV, en la Figura 1.26, se muestra una imagen referencial de una cámara estereoscópica con recubrimiento de titanio y especialmente diseñada para ROV autónomos, la cual que otorga visión 3D (BOWTECH).



Figura 1.25: Vehículo sumergible DexROV. Adaptado de (Horizon 2020, s.f.).



Figura 1.26: Cámara con visión 3D. Adaptado de (BOWTECH).

### **BlueROV2**

Este vehículo sumergible mostrado en la Figura 1.27 diseñado por la empresa BlueRobotics es uno de los drones submarinos más populares en el mercado, siendo usado principalmente para inspección e investigaciones (Blue Robotics Inc, s.f.). Este cuenta con una cámara de alta resolución la cual está montada en un mecanismo que le permite inclinarse según desee el operador, dicha cámara realiza transmisión de datos en tiempo real a una estación en el barco. En este caso, su electrónica y software son de código abierto, al igual que su modelo CAD 3D.



Figura 1.27: Vehículo sumergible BlueROV2. Adaptado de (Blue Robotics Inc, s.f.).

### ROV Poseidon I

Poseidon I es un ROV usado para acuicultura, pesca, educación, inspecciones profesionales y para explorar (AliExpress, s.f.). Este posee una cámara de 1080p que tiene un ángulo de visión de 120°, lo que le permite una gran resolución en sus imágenes y videos, siendo además portátil y con una capacidad de inmersión máxima de 120 metros durante 5 horas. El sistema es mostrado en la Figura 1.28, donde se puede corroborar su portabilidad y se observan también los cables necesarios para su conexión a una computadora.



Figura 1.28: Vehículo sumergible ROV POSEIDON I. Adaptado de (AliExpress, s.f.).

### Fathom One

Fathom One es un dron submarino pequeño (ver Figura 1.29) de dimensiones 203x152x101 mm (Fathom, 2019). Cuenta con un diseño modular, 3 propulsores y una cámara HD. Dicho ROV puede alcanzar una velocidad de 1.5 m/s y tienen un precio bastante bajo (599 dólares) comparado con otros ROVs, sin embargo, no alcanza altas profundidades (De la Morena, s.f.).



Figura 1.29: Vehículo sumergible Fathom One. Adaptado de (Fathom, 2019).

## Gladius Mini

Gladius Mini es un vehículo submarino que cuenta con 1 cámara, 2 luminarias y 4 propulsores (AliExpress, s.f.), como se observa en Figura 1.30. Este es controlado mediante un control remoto y la transmisión de la cámara puede darse a diferentes dispositivos, en Figura 1.31 se muestran la disposición del control remoto más el dispositivo usado para observar la transmisión en tiempo real.

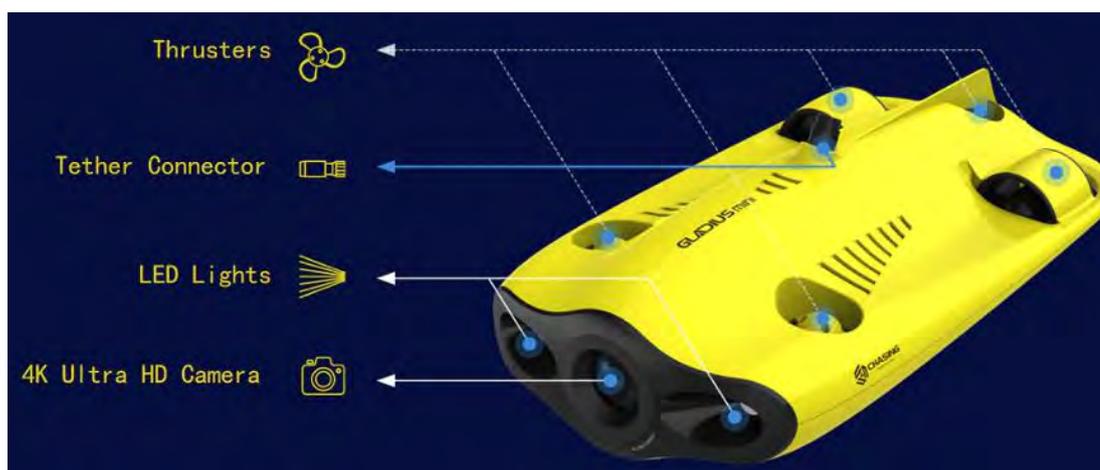


Figura 1.30: Vehículo sumergible Gladius Mini. Adaptado de (AliExpress, s.f.).



Figura 1.31: Vehículo sumergible Gladius Mini. Adaptado de (AliExpress, s.f.).

## Comparación entre subsistemas de movilidad

A continuación, se muestra la tabla 1.8, en la cual se resaltan y comparan las características más importantes para el desarrollo del proyecto que poseen los 3 subsistemas de movilidad anteriormente mencionados. Se puede observar que el DexROV no tienen muchas características, esto se debe a que aún es un proyecto en desarrollo, por lo que, sus fabricantes no han dado su información técnica.

Tabla 1.8: Tabla comparativa de los subsistemas de movilidad. Elaboración propia.

| Características                    | Subsistemas de movilidad |                                  |                |                   |                              |
|------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------|------------------------------|
|                                    | DexROV                   | BlueROV                          | Rov Poseidon I | Fathom One        | Gladius Mini                 |
| Adaptabilidad al sistema de visión | Media                    | Alta                             | Baja           | Media             | Baja                         |
| Ángulo de visión de la cámara      | -                        | 80°                              | 120°           | -                 | 95°                          |
| Cámara estereoscópica              | Sí                       | No                               | No             | No                | No                           |
| Costo                              | € 5 336 006              | \$ 2 989 – \$ 4 939              | € 1 655,76     | \$ 599            | \$ 3 281 – \$ 3 464          |
| Dimensiones (mm)                   | -                        | 457x338x254                      | 378x210x88     | 203x152x101       | 385x226x138                  |
| Iluminación                        | -                        | 2 o 4 luminarias de 1500 lúmenes | -              | Luminarias de 3 W | 2 luminarias de 1200 lúmenes |
| Peso (Kg)                          | -                        | 10-11                            | 3.4            | 10                | 3                            |
| Profundidad (m)                    | 1300                     | 100                              | 120            | 45                | 100                          |
| Resolución de la cámara            | -                        | 1080 p                           | 1080 p         | 1080 p            | -                            |
| Tiempo de operación (h)            | -                        | 2-3                              | 5              | -                 | 2                            |
| Velocidad (m/s)                    | -                        | 1.5                              | 2              | 1.5               | 2                            |

Cabe resalta, que el precio del DexROV colocado en la tabla 1.8, es el precio total del desarrollo del proyecto.

## 1.8.5 Algoritmos de segmentación de objetos en imágenes

### 1.8.5.1 Transformada Watershed

Este algoritmo de segmentación de imágenes es usado para separar objetos en contacto en una misma figura, por ejemplo, se podría partir de una fotografía como la mostrada en la Figura 1.32, en la que se muestra un conjunto de manzanas con poco espacio entre cada una de ellas.



Figura 1.32: Conjunto de manzanas original. Adaptado de (MathWorks, s.f.).

Después de realizar el procesamiento la imagen se mostraría dividida en regiones, como se muestra en la Figura 1.33.

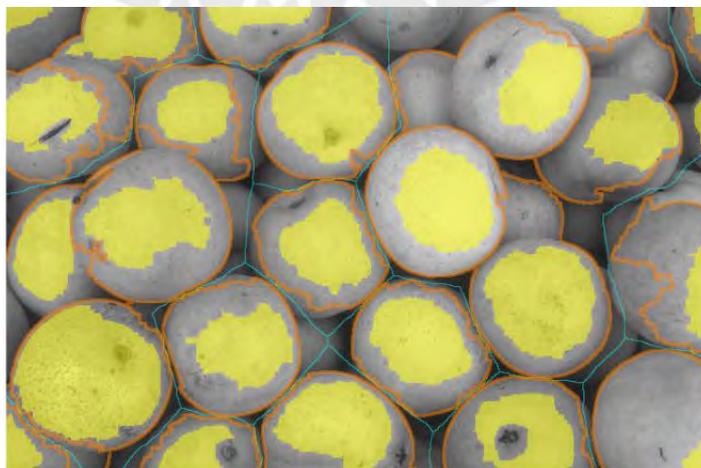


Figura 1.33: Conjunto de manzanas segmentadas. Adaptado de (MathWorks, s.f.).

### 1.8.5.2 Método de Otsu

Este método es capaz de hallar un valor umbral para toda la imagen, lo cual es un método muy eficaz para distinguir objetos que se diferencian mucho del fondo. La imagen que entra al método de Otsu debe ser una imagen en escala de grises y a partir de ella, se puede obtener como salida una imagen binaria. En la imagen 1.34, se muestra la imagen de entrada (parte izquierda) y la imagen segmentada (parte derecha) mediante este método.



Figura 1.34: Conjunto de manzanas segmentadas. Adaptado de (Matworks, s.f.).

### 1.8.5.3 Transformada de Hough

Mediante la aplicación de la transformada de Hough a una imagen se pueden obtener líneas curvas o rectas, círculos o elipses (Martínez T. , 2015). Esta técnica podría ser útil, ya que, como se ha visto en proyectos mencionados en el estado del arte, algunos peces (anchovetas en nuestro caso) pueden ser modelados como elipses. En la Figura 1.35, se muestra la detección de círculos realizada con la transformada de Hough.

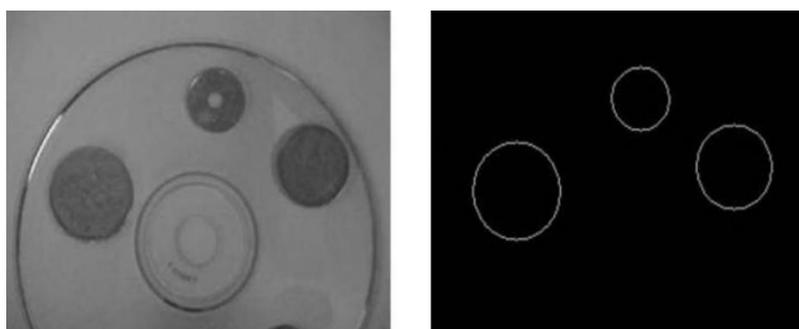


Figura 1.35: Conjunto de manzanas segmentadas. Adaptado de (Martínez T. , 2015).

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO CONCEPTUAL**

En el presente capítulo, se inicia el diseño conceptual del proyecto con una lista de requerimientos acordada para el diseño final del proyecto. A partir de ella, se elabora un el black box de sistema, donde se muestran las entradas y salidas de este. Luego, se definen los procesos, estructuras y funciones internas que debe desarrollar el sistema para poder obtener las salidas deseadas y para el mostrado de estas se elabora un diagrama de funciones, en el que, además, se muestra el flujo de la energía e información. Posteriormente, se elabora la matriz morfológica del proyecto donde se presentan tecnologías que pueden ser usadas para desempeñar las funciones presentadas en el diagrama mencionado. Y finalmente, se juntan dichas tecnologías para obtener posibles soluciones, las cuales son evaluadas técnica y económicamente para obtener el concepto de solución óptimo a desarrollar.

#### **2.1 Lista de requerimientos**

Para el desarrollo del proyecto es necesario documentar tanto las exigencias demandadas por el cliente, como los requerimientos necesarios para el correcto uso del sistema mecatrónico. Por ello, se ha desarrollado una lista de requerimientos (ver anexo 1), la cual cuenta con los requisitos indispensables del sistema y con deseos que optimizarían el mismo, sin embargo, estos últimos no son absolutamente necesarios

para su correcto funcionamiento. A continuación, se presentan dichos requerimientos y deseos documentados:

- **Función principal:** El sistema tiene como función principal distinguir entre anchovetas juveniles y adultas, y a la vez contabilizarlas, con el fin de evitar la alta incidencia de juveniles en pescas.
- **Geometría:** El ROV tendrá como dimensiones máximas 460x340x260 mm, mientras que el sistema de visión tendrá como dimensiones máximas a 460x340x200 mm. Las dimensiones máximas del sistema de movilidad están basadas en los ROVs presentados en la tabla 1.8 del estado del arte, en cambio, las dimensiones del sistema de visión han sido dadas para que sean concordantes con las del sistema de movilidad, variando únicamente la altura. Dicha altura ha sido basada en la literatura encontrada y en la búsqueda rápida de encapsulados que podrían contener las cámaras y cuyas dimensiones son de aproximadamente 152 mm (Blue Robotics Inc, s.f.).

Además, el sistema físico de visión (conjunto de cámaras más estructuras de soporte) que se acoplará al ROV contará espacio para colocar 2 bolsas de gel de sílice en cada encapsulado, esto con el fin de que dichas bolsas absorban la humedad y evitar así el empañamiento del sistema.

- **Cinemática:** El ROV debe tener la capacidad para alcanzar una velocidad de 1.2 m/s, esto debido a que, este debe poder seguir a las anchovetas, las cuales nadan a velocidades entre 0.55 m/s y 0.95 m/s (INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ, IMARPE, 2011).
- **Fuerza:** El ROV debe contar con una fuerza mínima aproximada de 71.9 N, con la finalidad de poder desplazarse a 50 metros bajo el nivel del mar, profundidad elegida debido a que, las anchovetas viven a una profundidad máxima de 50 metros (Curi, 2007) y que las redes de pesca en Perú llegan a aproximadamente 43 metros de profundidad (Martín, Chanchón, Alarcón, Cornejo, & Ganoza, 2014).

Para cálculo de la fuerza que el ROV necesita para su movilidad, mencionada en el párrafo anterior, se sustenta mediante las ecuaciones mostradas a continuación, sin embargo, se debe notar que, para este primer cálculo rápido, no se ha considerado la variación de la densidad del agua de mar de acuerdo a temperatura, salinidad, profundidad u otros factores, y que, además, se ha aproximado la forma del vehículo a un paralelepípedo, ya que, aún no se sabe su forma exacta.

En primer lugar, se muestra la ecuación de la fuerza de arrastre:

$$F_D = (C_D \cdot A \cdot \rho \cdot V^2)/2 \quad (2.1)$$

Donde:

$F_D$ : Fuerza de arrastre (N).

$C_D$ : Coeficiente de arrastre (adimensional).

$A$ : Área proyectada del objeto en movimiento sobre un plano perpendicular al del movimiento ( $m^2$ ).

$\rho$ : Densidad fluido ( $Kg/m^3$ ).

$V$ : Velocidad del flujo relativa al objeto (m/s).

Para el cálculo rápido de la fuerza que necesita el ROV, como ya se mencionó este será aproximado a un cubo, teniendo  $C_D$  de 1.10 (Sánchez , Escaño, & Castaño, 2011).

El área será calculada teniendo en consideración que estamos aproximando la forma del ROV a un cubo y también las dimensiones máximas de este colocadas en la lista de requerimiento, en la parte de geometría. Siendo esta hallada de la siguiente manera:

$$A = 340.260 \text{ mm}^2$$

$$A = 88,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

La densidad del fluido, agua de mar para este caso, se tomará como  $1027 \text{ kg/m}^3$  (Pino, s.f.). Por último, la velocidad de flujo relativa al objeto será tomada de la parte de cinemática de la lista de requerimientos, teniendo un valor de 1.2 m/s.

Finalmente, hallamos la fuerza de arrastre:

$$F_D = (C_D \cdot A \cdot \rho \cdot V^2)/2 \quad (2.1)$$

$$F_D = (1,10 \cdot 88,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1027 \cdot 1,2^2)/2$$

$$F_D = 71.9 \text{ N}$$

- **Comunicación:** Se realizará la transmisión en tiempo real de lo que observa el ROV a la estación en el barco, esto con el uso de cables de una longitud de 150 metros unidos al del ROV para evitar rupturas. La dimensión ha sido seleccionada debido a que las redes de pesca de cerco (tipo de pesca usada para la anchoveta) tienen longitudes entre 250 metros y 1000 metros (ESPESCA, s.f.), lo que les daría una circunferencia de radio entre 40 metros y 160 metros para poder capturar a la especie. Además, considerando que la profundidad máxima de uso del dispositivo será de 50 metros, obtendríamos mediante Pitágoras como distancia máxima que puede existir entre la embarcación y el cardumen una distancia de 64 metros para redes de pesca de 250 metros de longitud y una distancia de 167 metros para redes de pesca de 1000 metros de longitud. Por ello, contemplando que los casos anteriormente mencionados son condiciones extremas, se considera que 150 metros de longitud es suficiente para el sistema a diseñar. Cabe resaltar que la siguiente medida comercial de cable sería de 200 metros, lo cual se considera sobredimensionado para su uso en la pesca de anchoveta en Perú.
- **Energía:** El ROV será energizado con 220 VAC provenientes desde la embarcación conectada a este mediante cables, esto debido a que el vehículo ya hace uso de estos para la transmisión de datos.

- **Software:** Debido a lo pesado del procesamiento de datos en este trabajo, se prefiere que dicho procesamiento sea realizado en una laptop, por ello, se diseñará un interfaz en la cual se mostrarán los resultados del análisis (longitudes de los peces y sus respectivas cantidades). Se desea obtener un error en la medición de dichas longitudes menor a 0.5 cm, que es el rango recomendado por la FAO (Gulland & Rosenberg, 1992). Además, en dicha interfaz se también se mostrará la cantidad de peces que hay en el cardumen, teniendo un margen de error deseado de 5%. Y, por último, se desea que el tiempo de procesamiento del video, desde que haya culminado su grabación sea menor a 5 minutos, esto debido a que en caso el sistema sea usado para pescar, y no para monitoreos, los peces podrían huir.
- **Señales de entrada:** Las señales de entrada del sistema serán de encendido/apagado, señales necesarias para dirigir el vehículo hacia el cardumen para grabar adecuadamente el video y la señal de iniciar grabación, para empezar la toma de datos.
- **Señales de salida:** Las señales de salida del sistema serán estado de la grabación (en curso o si ya se terminó de grabar), del estado de procesamiento de datos (si aún se está realizando o ya finalizó) y del nivel de profundidad a la que se encuentra el ROV, todas las señales serán mostradas a través de la interfaz.
- **Electrónica:** El ROV debe contar con un mínimo de 2 cámaras estereoscópicas, es decir, 4 lentes en total; esto con la finalidad de poder tener vistas desde diferentes ángulos y también para poder obtener la cantidad adecuada de datos para el procesamiento. Además, las luminarias deberán garantizar que las cámaras cuenten con al menos 1200 lúmenes para la grabación, representando estos 1200 lúmenes la iluminación usada por otros sistemas registrados en la tabla 1.8 del estado del arte.
- **Transporte:** Con la finalidad de que el sistema no sea difícil de transportar, este tendrá una masa menor a 20 kilogramos, es decir, podrá ser cargado por una sola persona (Ley N° 29088, 2009).

- **Montaje:** El sistema físico de visión, formado por cámaras y su estructura, será acoplado al ROV mediante tornillos, para facilitar el ensamblaje.
- **Uso:** Para el uso del sistema, el operario deberá contar una laptop en la cual mediante la interfaz se realizará el procesamiento y también, mediante esta el usuario interactuará con el ROV. Sin embargo, el usuario deberá tener en cuenta ciertas limitaciones del ROV, por ejemplo, este no deberá ser operado a profundidades mayores a 50 metros, ni ser operado fuera del rango de temperaturas de 12 a 22 °C. La profundidad fue elegida debido a que una mayor profundidad aumentaría el costo del ROV innecesariamente, ya que, las anchovetas viven como máximo hasta 50 metros bajo el nivel del mar (Curi, 2007). El rango de temperaturas fue elegido de igual manera de acuerdo al hábitat de anchovetas, debido a que estas viven en aguas entre 14.5 y 20°C (Curi, 2007). Adicionalmente, como el sistema está orientado a su uso en anchovetas, y en el Perú particularmente, es posible que si se ensambla dicho sistema mecatrónico en algún lugar húmedo del país habría riesgo de que el sistema de visión se empañe. Por ello, de ser ensamblado en una región con dicha característica se deberá usar bolsas de gel de sílice dentro del sistema que absorban la humedad.
- **Mantenimiento:** Cada parte del sistema que haya tenido contacto con el mar debe ser limpiada después de cada uso, esto incluye ROV y cable de conexión entre el mismo y la estación a tierra. Además, se deberá comprobar que no hayan existido filtraciones de agua a la parte interna del ROV, de ser así se deberá reemplazar las piezas involucradas.
- **Costo:** El costo total del proyecto (incluyendo el ROV ha seleccionar), no debe sobrepasar los 15 000 dólares, de acuerdo a requerimientos del cliente.
- **Plazo:** El diseño del proyecto y las pruebas del algoritmo de procesamiento de imágenes (simulaciones) deberán ser realizadas en un plazo de 2 semestres académicos.

## 2.2 Estructura de funciones

Con la finalidad de identificar los procesos, estructuras y funciones necesarias que tiene que realizar el sistema para cumplir con la lista de requerimientos exigida se elaboró la caja negra del sistema (black box), en el cual se muestran las entradas y salidas del sistema. Posteriormente, basados en dicho black box, se elaboró el diagrama de funciones internas que debe poseer el sistema para cumplir los requisitos ya mencionados.

### 2.2.1 Black Box

El black box del presente proyecto se muestra en la Figura 2.1, donde se presentan las entradas y salidas del sistema de acuerdo a la lista de exigencias presentada anteriormente.

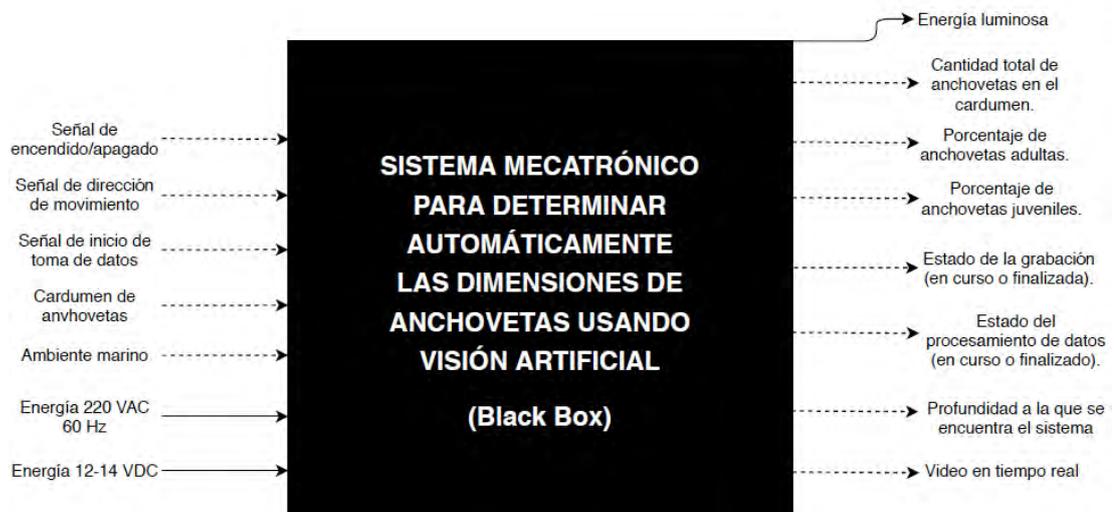


Figura 2.1: Black Box del sistema. Elaboración propia.

#### 2.2.1.1 Señales de entrada

A continuación, se mencionan las señales de entrada que poseerá el sistema.

- Señal de encendido/apagado: Esta señal de control la dará el usuario mediante la interfaz y activará o apagará el sistema.

- Señales de movimiento del vehículo: Estas señales también serán dadas por el usuario mediante la interfaz y servirán para guiar el vehículo hacia el cardumen.
- Señal de inicio de toma de datos: Esta señal la ingresará el usuario cuando el sistema se encuentre en posición para para empezar a grabar el video del cardumen e iniciar el procesamiento de las imágenes obtenidas.
- Señal de cardumen de anchovetas: Esta señal representa a la información que obtiene el sistema de visión de los peces.
- Señal del ambiente marino: Esta señal representa a la información que obtiene el sensor de profundidad del ambiente marino.
- Señal de 220 VAC (60 Hz): Esta señal viene a representar la energía que alimentará al sistema sumergible.
- Señal de 12-14 VDC: Esta señal viene a representar la energía que alimentará a los componentes del sistema en la embarcación.

#### **2.2.1.2 Señales de salida**

A continuación, se mencionan las señales de salida del sistema.

- Señal de energía luminosa: Esta es la única señal de salida en forma de energía del sistema, y viene a representar la salida del sistema de iluminación del vehículo submarino.
- Señal de cantidad total de anchovetas en el cardumen: Esta señal de salida se mostrará por la interfaz y representará la cantidad de anchovetas contabilizadas por el sistema.

- Porcentaje de anchovetas adultas: Esta señal representa la cantidad de anchovetas adultas con respecto a la cantidad total de anchovetas en el cardumen.
- Porcentaje de anchovetas juveniles: Esta señal representa la cantidad de anchovetas juveniles con respecto a la cantidad total de anchovetas en el cardumen.
- Señal de estado de la grabación (en curso o finalizada): Esta señal mostrará al usuario el estado de la grabación, para que sepa si debe seguir apuntando el sistema de visión hacia el cardumen o si ya es posible retirar el vehículo del agua.
- Señal de estado de procesamiento de datos (en curso o finalizada): Esta señal mostrará al usuario el estado del procesamiento de datos, ya que, este podría tomar más tiempo después de la finalización del video.
- Señal de profundidad a la que se encuentra el sistema: Esta señal mostrará al usuario la profundidad a la que se encuentra el vehículo y le servirá para saber si puede hacer que el sistema continúe descendiendo o no.
- Señal del video en tiempo real: Esta señal representa transmisión que se realiza desde el sistema de visión hasta la interfaz para que el operario pueda visualizar el entorno del vehículo y así, pueda guiar a este hacia el cardumen.

### 2.2.2 Diagrama de funciones

En la estructura de funciones, mostrada en el Figura 2.2 y en el anexo 2, ha sido dividida en dos partes. En primer lugar, se encuentra la estación en la embarcación representada por el color celeste y, en segundo lugar, se encuentra el sistema sumergible, el cual está representado de color azul, como se observa en la parte inferior izquierda de la estructura de funciones. Dentro de cada una de estas, se ha representado las funciones internas del sistema que se deben realizar por dominio.

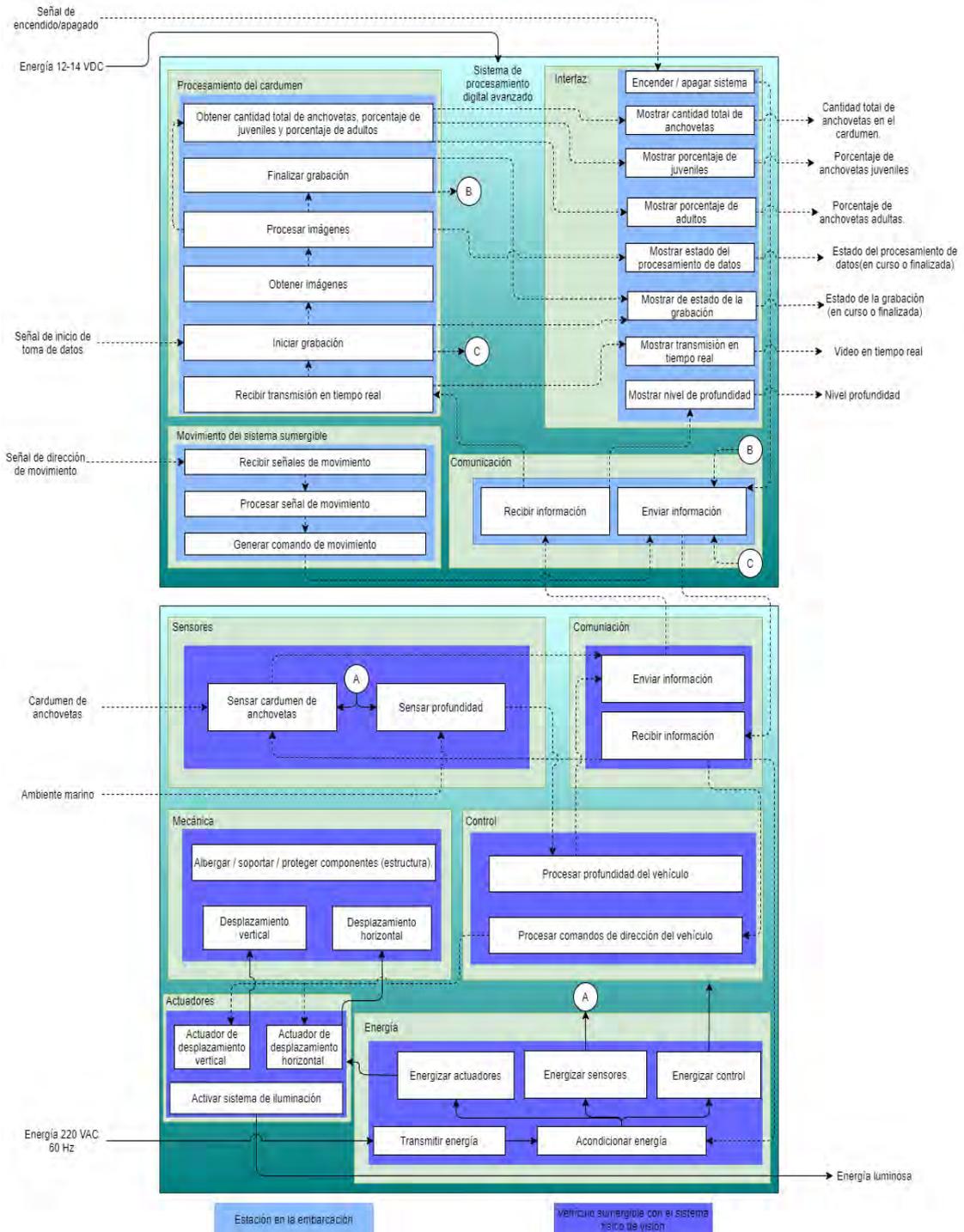


Figura 2.2: Estructura de funciones del sistema. Elaboración propia.

En la estación de la embarcación se encontrará el procesador e interfaz, los cuales vendrían a componer el sistema de procesamiento digital avanzado. Por otra parte, en el sistema sumergible se encuentra el sistema físico necesario para la obtención de los datos que serán procesados en la interfaz, incluyendo el cable que transporta la energía hasta este.

A continuación, se enlista y explica los bloques presentados en la estructura de funciones, según el dominio dentro del cual hayan sido considerados.

- I. **Sistema de procesamiento digital avanzado:** Aquí se incluyen el controlador e interfaz, para los cuales está pensado usar una laptop, las cuales se energizan generalmente con voltajes entre 10 y 14 VDC.
  - a) **Procesamiento de cardumen:** En esta parte del proceso se recibe la transmisión en tiempo real; sin embargo, esta solo se empieza a grabar cuando el usuario lo indique (mediante la señal de entrada de iniciar grabación), lo que debería ser cuando este mismo pueda ver al cardumen de anchovetas a través de la interfaz. Al ocurrir dicho evento, se inicia la grabación y con ello la obtención de imágenes para su procesamiento. La grabación acaba después de 30 minutos según lo especificado en la lista de requerimientos, pero esto no implica que el procesamiento acabe al mismo tiempo que la grabación, pues este puede tomar más tiempo. Al finalizar el procesamiento se obtienen todos los datos de la cantidad total de anchovetas, el porcentaje de juveniles y el de adultos.
  - b) **Movimiento del sistema sumergible:** Este bloque se encarga de recibir las señales de movimiento indicadas por el operario que quiere que el vehículo realice con la finalidad de llegar al cardumen, estas son procesadas y posteriormente se envía al bloque de comunicación el comando de movimiento.
  - c) **Comunicación:** Este bloque se encarga de recibir la información proveniente del bloque de comunicación del vehículo sumergible y transmitir dicha información a los bloques dentro del sistema de cómputo avanzado, según sea necesario. Recíprocamente, también envía algunas de las señales generadas en el sistema de cómputo avanzado hacia el bloque de comunicación del vehículo sumergible.
  - d) **Interfaz:** En este bloque se realiza el mostrado de todas las señales, esto incluye las señales necesarias para dirigir el vehículo bajo el agua como la

transmisión en tiempo real del video y el nivel de profundidad a la cual este se encuentre, las señales para saber el estado de la grabación y del procesamiento, y las señales de obtenidas del procesamiento del video como la cantidad de total de anchovetas, el porcentaje de juveniles y adultos.

**II. Sistema sumergible:** El sistema sumergible representa a la estructura que alberga y protege a los componentes, a los dispositivos requeridos para el acondicionamiento de la energía y la transmisión de la misma, a los actuadores, a los sensores y a las unidades necesarias para el control.

- a) **Sensores:** En este bloque se encuentran los sensores necesarios para obtener los datos del cardumen y de profundidad. Los primeros pueden ser representados por dispositivos capaces de observar y calcular la longitud de los individuos. Mientras que el sensado de la profundidad se realiza con dispositivos que miden la presión de la columna de agua sobre ellos, y a partir de ésta, calcular la profundidad a la que se encuentran.
- b) **Comunicación:** Este bloque, similar al bloque de comunicación en el sistema de cómputo avanzado, se encarga de recibir la información proveniente de los diferentes bloques que encontramos dentro del vehículo sumergible y transmitir dicha información al bloque de comunicación del sistema de cómputo avanzado. Además, también transmite la información que recibe del bloque de comunicación del sistema de cómputo mencionado hacia los bloques propios de sistema sumergible, según corresponda.
- c) **Mecánica:** En este bloque encontramos la estructura del vehículo y el sistema encargado del desplazamiento vertical y horizontal. La estructura es la encargada de proteger y albergar todos los componentes usados, tales como los actuadores, sensores, dispositivos de control y energía. Por otra parte, el sistema encargado del desplazamiento vertical y horizontal vendría a estar dado por el ROV a elegir.
- d) **Control:** Este bloque representa al controlador ubicado dentro del vehículo sumergible. Este se encarga de procesar la información del sensor de

profundidad, para posteriormente mostrar dichos datos. Además, genera los comandos de dirección que los propulsores del ROV tendrían como entrada para su desplazamiento.

- e) **Actuadores:** Los actuadores en el presente proyecto se encuentran únicamente representados por las luminarias que serán agregadas para mejorar la calidad de las imágenes.
  
- f) **Energía:** En este bloque empieza con la función de transmitir energía que vendría a estar representada por el cable de 150 metros que trasladaría los 220 VAC - 60 Hz al sistema sumergible. Posteriormente, dentro del vehículo la energía sería acondicionada mediante componente electrónicos para obtener el voltaje adecuado para alimentar a los actuadores, sensores, el sistema de movilidad y el controlador.

### 2.3 Matriz morfológica

En esta sección se presenta para cada función mencionada en la Figura 2.2 entre 2 a 4 tecnologías que podrían desempeñarla. Estas han sido conectadas mediante flechas, como se muestra en el anexo 3, según el dominio al que correspondan. Esto con la finalidad de formar conceptos de solución ante la problemática presentada.

A continuación, se presentarán los componentes elegidos para cada concepto de solución mediante tablas según el dominio.

#### 2.3.1 Matriz morfológica del dominio actuadores

Dentro del proyecto se usarán únicamente 2 actuadores, estos serán usados para movilizar el sistema de visión y para otorgar una iluminación apropiada a este. Como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Actuadores de los conceptos de solución. Elaboración propia.

| Función                   | Dominio de actuadores |             |              |
|---------------------------|-----------------------|-------------|--------------|
|                           | Solución I            | Solución II | Solución III |
| Desplazamiento vertical   | BlueROV2              | BlueROV2    | Fathom One   |
| Desplazamiento horizontal |                       |             |              |
| Iluminación               | LED                   | LED         | LED          |

Como se puede observar, el primer actuador está representado por vehículos sumergibles (ROVs), mientras que el segundo por las luminarias necesarias en el sistema de visión.

### 2.3.2 Matriz morfológica del dominio de sensores

En este dominio se usarán 2 tipos de sensores, los cuales serán utilizados para muestrear el cardumen de anchovetas y para conocer la profundidad a la que se encuentra el vehículo. Estos son presentados en la tabla 2.1.

Tabla 2.2: Sensores de los conceptos de solución. Elaboración propia.

| Función                       | Dominio de sensores                |                                    |                                 |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|                               | Solución I                         | Solución II                        | Solución III                    |
| Sensado de datos del cardumen | Cámaras estereoscópicas            | Cámaras estereoscópicas            | Cámaras con tecnología ToF      |
| Sensado de la profundidad     | Sensor de profundidad no hermético | Sensor de profundidad no hermético | Sensor de profundidad hermético |

En este caso, el sensado del cardumen se puede realizar mediante pares de cámaras separadas una distancia determinada (cámaras estereoscópicas) o cámaras con sensores infrarrojos (cámaras con tecnología ToF). Como se puede notar, se usa más de un sensor para la adquisición de datos de las anchovetas, esto debido a que se

necesita conocer la distancia del sensor hacia la especie y la vez obtener imágenes de estas, y esto es muy complicado usando solo un dispositivo.

Por otro parte, el sensado de la profundidad se realiza mediante dispositivos capaces de medir la presión de la columna de agua sobre estos, y traducirla en términos de altura con el fin de conocer la profundidad del móvil. Estos han sido divididos en función de si necesitan ser encapsulados para su uso o si se pueden usar directamente en contacto con el agua.

### 2.3.3 Matriz morfológica del dominio de energía

El dominio de energía ha sido dividido en la fuente de alimentación y el acondicionamiento de energía. Las opciones elegidas se presentan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Componentes del dominio de energía de los conceptos de solución. Elaboración propia.

| Función                | Dominio de energía                    |                                       |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|                        | Solución I                            | Solución II                           | Solución III                          |
| Fuente de alimentación | Generador eléctrico de la embarcación | Generador eléctrico de la embarcación | Generador eléctrico de la embarcación |
| Acondicionar energía   | Fuente conmutada                      | Fuente conmutada                      | Fuente conmutada                      |

Como fuente de prefirió utilizar el generador eléctrico propio de la embarcación, pues su uso reduciría los costos del proyecto, debido a que este ya se encuentra implementado. Y para el acondicionamiento de energía se usará una fuente conmutada debido a que son compactas y no se sobrecalientan. Cabe resaltar que el cable encargado de la transmisión de datos y energía, depende del vehículo elegido, pues ambos vienen en conjunto al momento de realizar la compra. Lo único que se especifica del cable es la longitud, la cual ya ha sido previamente definida en la lista de exigencias.

### 2.3.4 Matriz morfológica del dominio de control

El dominio de control ha sido dividido en hardware y software. El hardware compuesto principalmente el sistema de procesamiento avanzado y el controlador del ROV. Las opciones elegidas son mostradas en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Componentes de hardware y software del dominio de control de los conceptos de solución.  
Elaboración propia.

| Función  | Dominio de Control - Hardware    |  |                  |
|--|----------------------------------|--|------------------|
|  | Solución I                       | Solución II  | Solución III     |
| Sistema de procesamiento avanzado                    | Laptop                           | Programador Lógico Controlable y pantalla HMI      | Laptop           |
| Controlador del vehículo sumergible                  | Microcontrolador                 | Microcontrolador                                   | Microcontrolador |
| Función  | Dominio de Control - Software    |  |                  |
|  | Solución I                       | Solución II  | Solución III     |
| Lenguaje y entorno para el procesamiento de imágenes | Lenguaje de alto nivel en Matlab | Lenguaje de programación visual gráfico en LabVIEW | Python en IDLE   |

Para la elección del hardware que realizará el procesamiento de imágenes se han considerado como posibles opciones un computador (laptop) o un controlador lógico programable (PLC), esto debido a su gran capacidad para manejar datos. En cambio, como en el vehículo sumergible serán controladas pocas variables, se prefiere el uso de un microcontrolador.

Por otro lado, para el dominio de software se realizó la búsqueda de lenguajes con sus respectivos entornos en los cuales se podría desarrollar el código para la obtención de datos del cardumen. Estos han sido elegidos basados en las herramientas, capacidad y facilidad que tienen para procesar imágenes.

Finalmente, se eligieron los algoritmos para las funciones de procesamiento que realizará el sistema. Estos, al igual que la estructura de funciones, han sido divididos según se realicen en el sistema de procesamiento avanzado o en el vehículo sumergible. Las elecciones para cada concepto se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Algoritmos del dominio de control de los conceptos de solución. Elaboración propia.

| Bloque                                    |                                    | Función   | Dominio de control - algoritmos |                        |                        |
|---|------------------------------------|---|---------------------------------|------------------------|------------------------|
|   |                                    |   | Solución I                      | Solución II            | Solución III           |
| Sistema de procesamiento digital avanzado | Movimiento del vehículo sumergible | Procesamiento de la señal de movimiento   | Sentencia Switch case           | Sentencia Switch case  | Sentencia Switch case  |
|   |                                    | Generar comando de movimiento   |                                 |                        |                        |
|   | Procesamiento de anchovetas        | Procesar imágenes   | Transformada Watershed          | Transformada Watershed | Transformada Watershed |
|   |                                    | Obtener cantidad total de anchovetas, porcentaje de juveniles y porcentaje de adultos | Conteo con bucle while          | Conteo con bucle while | Conteo con bucle for   |
| Vehículo sumergible                       | Control                            | Procesamiento de la dirección del vehículo sumergible                                 | Control PID                     | Control PID            | Control ON / OFF       |

La señal de movimiento del vehículo sumergible será recibida mediante el computador en la embarcación. Su procesamiento se realizará mediante la sentencia switch case, y a través de esta se elegirá el dato que se enviará al controlador del vehículo sumergible. Cuando la señal llegue al controlador del vehículo, este realizará el control de la velocidad y dirección de los motores mediante control PID o mediante control ON / OFF, según cada concepto de solución.

Para el procesamiento del cardumen se prefirió la transformada watershed, ya que, según lo revisado en el estado del arte es capaz de procesar una gran cantidad de objetos y segmentar uno de otro sin importar que estos se encuentren muy cerca. Sin embargo, se debe resaltar que es posible que se utilice más de un método para la segmentación, esto debido a la gran cantidad de información.

### 2.3.5 Matriz morfológica del dominio estructural

Este dominio se ha considerado necesario para evaluar 2 tipos de tecnologías. En primer lugar, las tecnologías usadas para el almacenamiento y protección de los componentes bajo el agua. Y, en segundo lugar, las estructuras que se usarán para controlar la flotabilidad del sistema sumergible. Los componentes empleados se presentan en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Estructuras de los conceptos de solución. Elaboración propia.

| Función   | Dominio estructural                      |  |  |
|---|--|--|--|
|   | Solución I                               | Solución II                              | Solución III                             |
| Almacenamiento y protección del sistema de visión | Encapsulados de acrílico                 | Encapsulados de acrílico                 | Módulos de plástico                      |
| Control de flotabilidad                           | Estructura de tubos de plástico o kevlar | Espuma sintética o rígida de poliuretano | Espuma sintética o rígida de poliuretano |

Para el almacenamiento y protección de los componentes se ha considerado que podría ser mediante encapsulados de acrílico o módulos de plástico, siendo acrílico el material que resiste mayores presiones entre estos dos. Por otra parte, para el control de flotabilidad se ha considerado el uso de superestructuras (estructuras adicionales a la del vehículo, las cuales estarían formadas por tubos huecos) o espumas.

## 2.4 Conceptos de solución

Se han elaborado 3 conceptos de solución con las tecnologías presentadas en las tablas de las matrices morfológicas. Estos conceptos se han detallado mediante bosquejos y detalles, en los cuales se muestran los componentes, la conexión entre estos a detalle y las dimensiones generales del concepto integrado. También se presenta en cada concepto de solución el vehículo sumergible que se escogió para modificar, señalándose las áreas y/o dispositivos que variarían.

### 2.4.1 Concepto de solución 1

En el concepto de solución 1 se eligió el ROV de la compañía Blue Robotics, cuyo modelo CAD se muestra en la Figura 2.3 (Blue Robotics Inc, s.f.).



Figura 2.3: Modelo CAD del vehículo BlueROV2. Adaptado de (Blue Robotics Inc, s.f.).

A este vehículo se le ha integrado en la parte inferior una estructura a base de tubos, la cual porta los componentes adicionales necesarios para el cumplimiento de los requerimientos del sistema. El conjunto de estructura y componentes se muestran en la Figura 2.4.

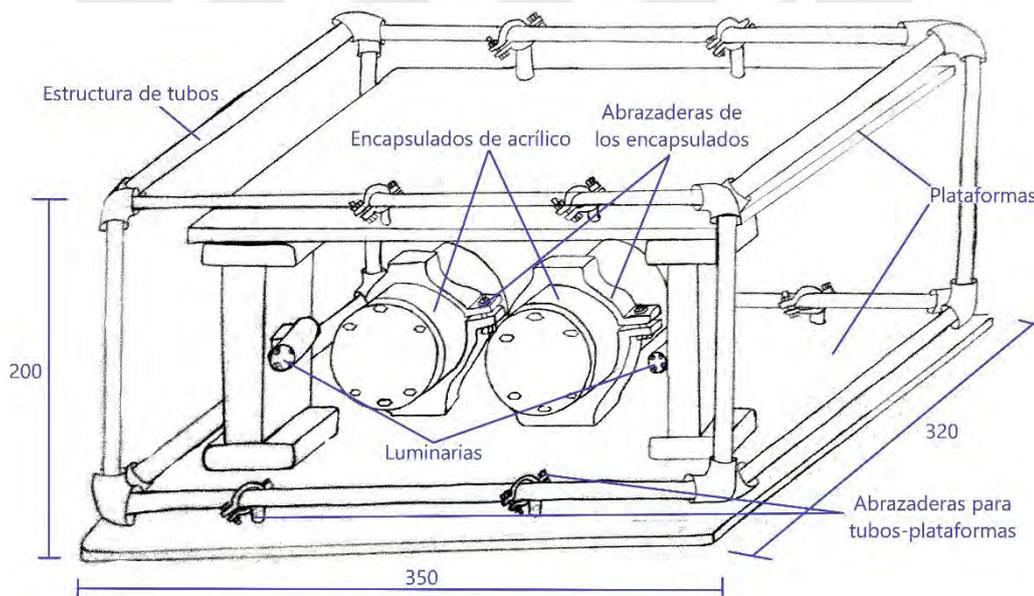


Figura 2.4: Sistema adicional al vehículo BlueROV2 del concepto de solución 1. Elaboración propia.

El sistema adicional mostrado en la Figura 2.4 posee el sistema de visión (cámaras estereoscópicas), las luminarias (dos leds adicionales al ROV) y la fuente conmutada (para energiza las cámaras y el sensor de profundidad).

Los leds han sido atornillados a una estructura de acrílico en forma de “I”, cuyo detalle se muestra en la Figura 2.5.

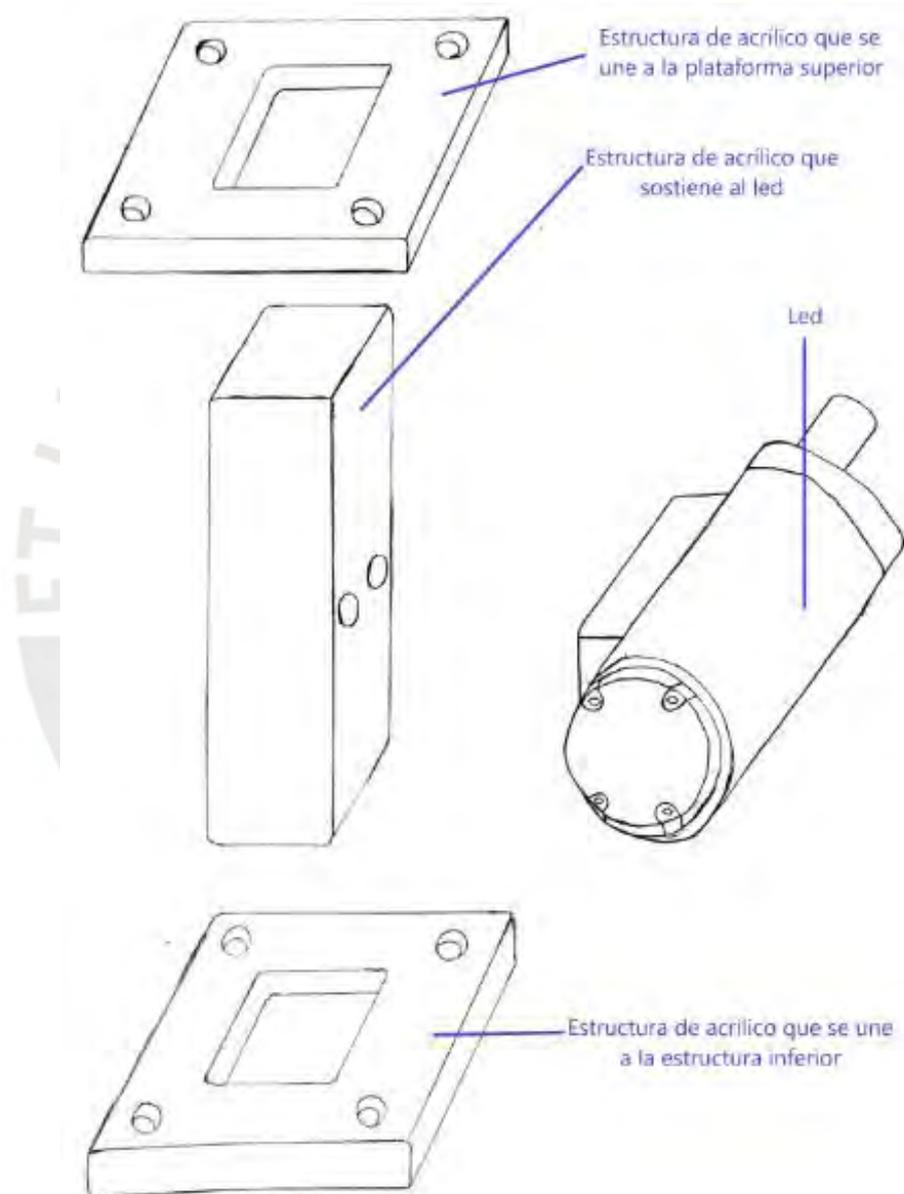


Figura 2.5: Sistema de iluminación del concepto de solución 1. Elaboración propia.

En la Figura 2.5 se puede observar dos estructuras de acrílico, ambas se unen a las plataformas mediante tornillos según corresponda. La estructura intermedia encaja por forma en las otras dos estructuras (superior e inferior) y para asegurar la unión entre

estas piezas se utilizará cloroformo, el cual hará que las piezas tengan una conexión permanente. Finalmente, el led se conecta a la parte lateral de la estructura intermedia mediante tornillos, pues este dispositivo posee en un lado una configuración tipo tuerca.

Para este concepto, el sistema de visión cuenta cámaras estereoscópicas (par de cámaras separadas una distancia conocida), las cuales han sido ubicadas dentro de los encapsulados de acrílico. El detalle de la ubicación de las cámaras se muestra en la Figura 2.6.

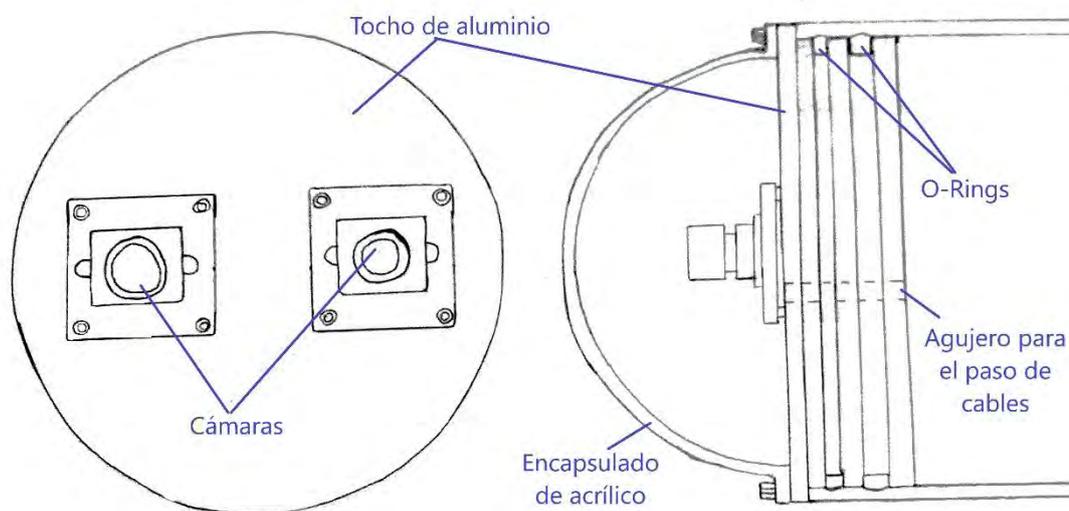


Figura 2.6: Sistema de visión del concepto de solución 1. Elaboración propia.

En la Figura 2.6 podemos ver que las cámaras están unidas a un tocho de aluminio mediante tornillos, el cual va dentro del encapsulado de acrílico y posee O-Rings que otorgan hermeticidad.

Como se observa en la Figura 2.4, el contenedor del sistema de visión está unido a la plataforma inferior mediante una abrazadera cuyo detalle se muestra a continuación en la Figura 2.7. Cabe resaltar que estas abrazaderas ya son fabricadas por la compañía BlueRobotics con dimensiones predeterminadas para soportar los diferentes tamaños de encapsulados de acrílicos que estos venden.

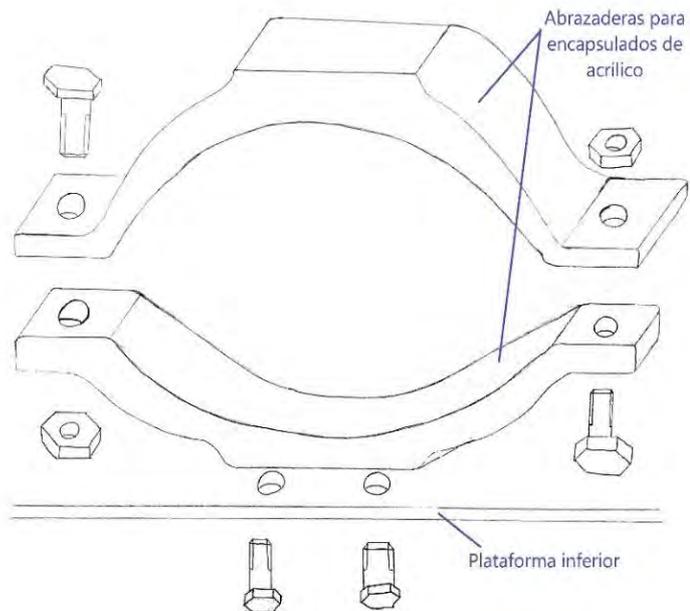


Figura 2.7: Abrazadera del encapsulado de acrílico del concepto de solución 1. Elaboración propia.

En la figura anterior se puede notar que todas las uniones se dan mediante tornillos, lo mismo ocurre para la unión de la estructura de turbos a las plataformas, cuyo enlace se muestra en la Figura 2.8.

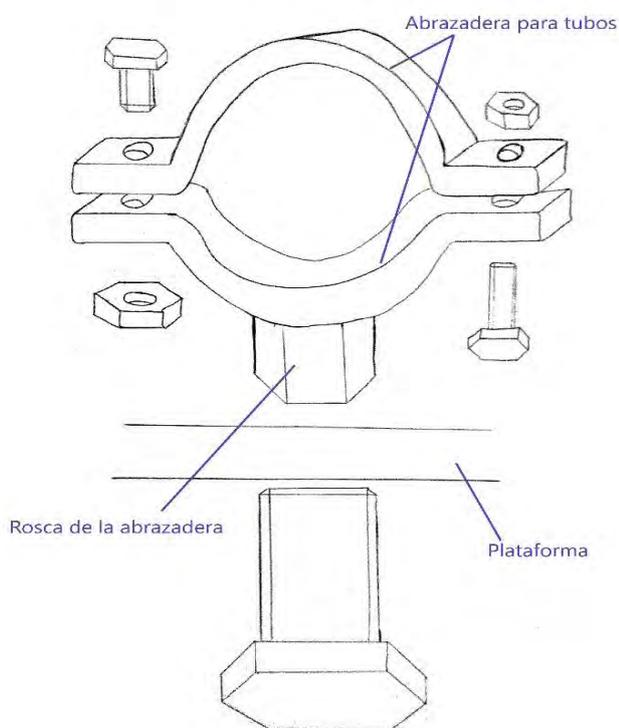


Figura 2.8: Abrazadera para conexión entre tubos y plataformas del concepto de solución 1. Elaboración propia.

Por otro lado, se muestra en la Figura 2.9 la ubicación y sujeción de la fuente conmutada, la cual está ubicada dentro del encapsulado acrílico de la parte derecha.

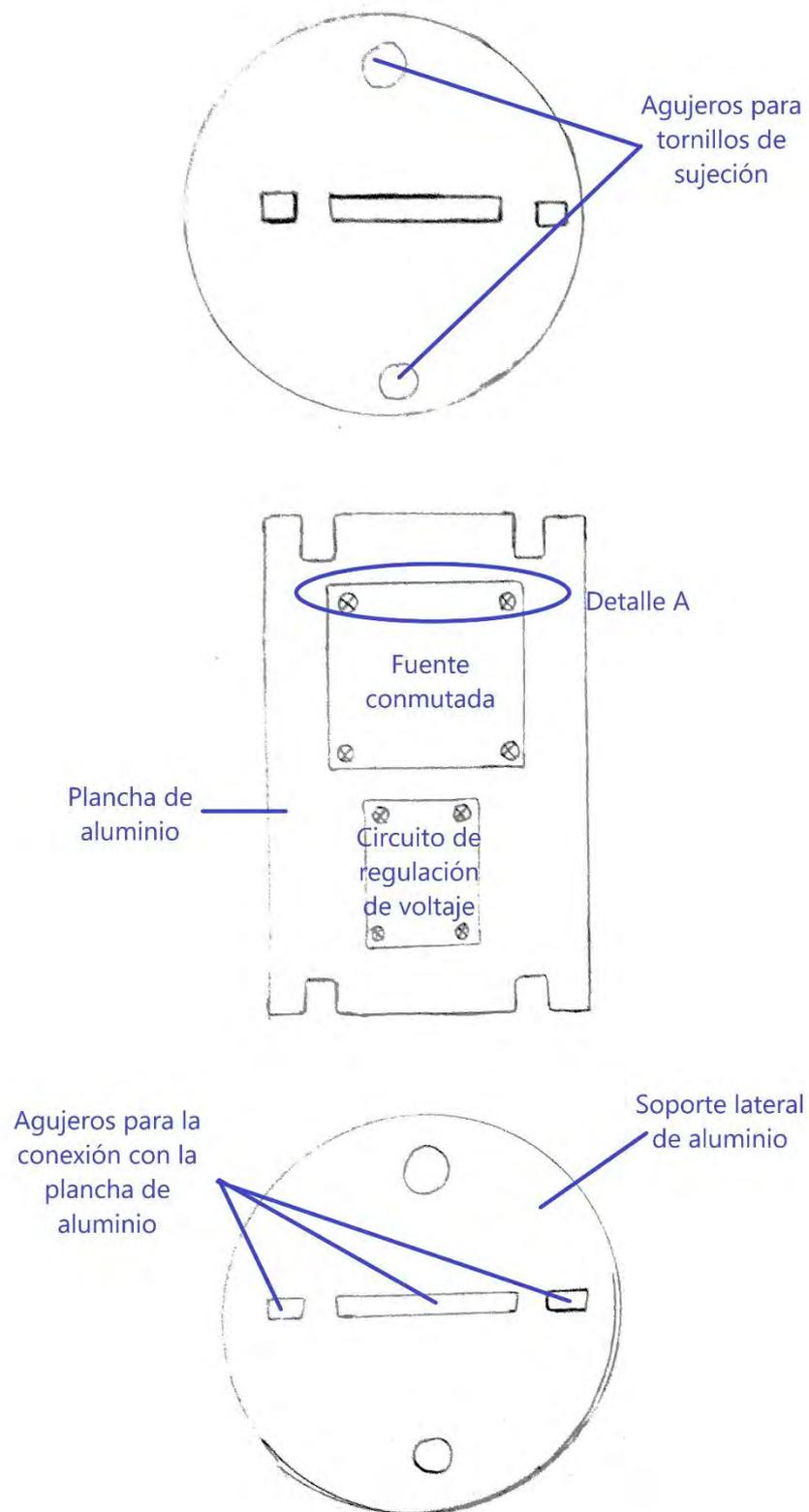


Figura 2.9: Sujeción de la fuente conmutada del concepto de solución 1. Elaboración propia.

En la anterior figura se observa la forma circular de los soportes laterales que irían dentro del contenedor de acrílico, y los agujeros necesarios para enlazar una plancha de aluminio. Dicha conexión se daría mediante ajuste de apriete, sosteniendo así a la plancha de aluminio. En esta plancha se ubicaría la fuente conmutada y circuitos adicionales de regulación de voltaje de ser necesarios. El detalle de la unión de estos componentes a la plancha de aluminio (detalle A) se ilustra en la Figura 2.10.

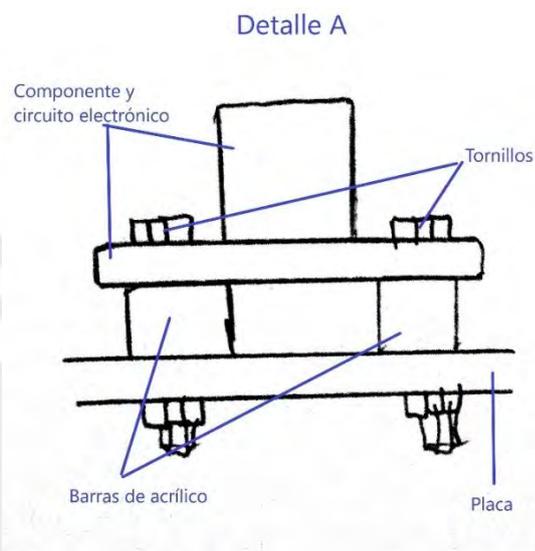


Figura 2.10: Detalle de conexión entre componentes electrónicos y plancha de aluminio del concepto de solución 1. Elaboración propia.

Finalmente, la disposición que tendrán los cables de transmisión y el sensor de profundidad ya viene dada en el mismo BlueROV2. Estos se ubican en la posterior de los encapsulados, según se muestra en la Figura 2.11.

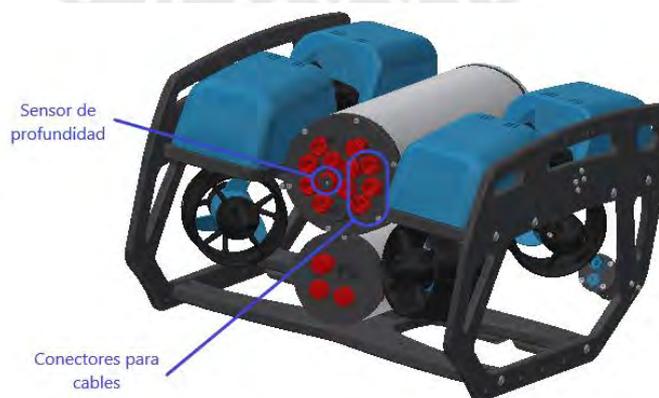


Figura 2.11: Parte posterior del modelo CAD del vehículo BlueROV2. Adaptado de (Blue Robotics Inc, s.f.).

## 2.4.2 Concepto de solución 2

En el concepto de solución 2 también se eligió el ROV de la compañía Blue Robotics (ver figura 2.3), sin embargo, a este se le quitará dos componentes ubicados en la parte superior, señalados en la Figura 2.12.



Figura 2.12: Modelo CAD del vehículo BlueROV2. Adaptado de (Blue Robotics Inc, s.f.).

Cuando se haya quitado esos componentes el ROV quedaría como se muestra en la Figura 2.13.



Figura 2.13: Modelo CAD del vehículo BlueROV2 sin dos espumas. Adaptado de (Blue Robotics Inc, s.f.).

Los componentes retirados comprenden espumas y sus respectivas carcasas. Dichas espumas son usadas para controlar la flotabilidad del vehículo, pues permiten modificar la relación entre el peso y el volumen del ROV con la finalidad de que al colocar el sistema en el agua este sumerja ligeramente de tal manera que sus propulsores verticales queden en total contacto con el agua y no con el aire. Por ello, si el sistema adicional del concepto de solución 2 modificará en gran medida la relación de peso – volumen inicial del ROV, al grado de perjudicar a sus propulsores, habría la necesidad de modificar el tamaño de las espumas ubicadas en la parte posterior del vehículo.

A continuación, en la Figura 2.14 se muestra el ROV con el compartimiento ubicado en la zona superior.

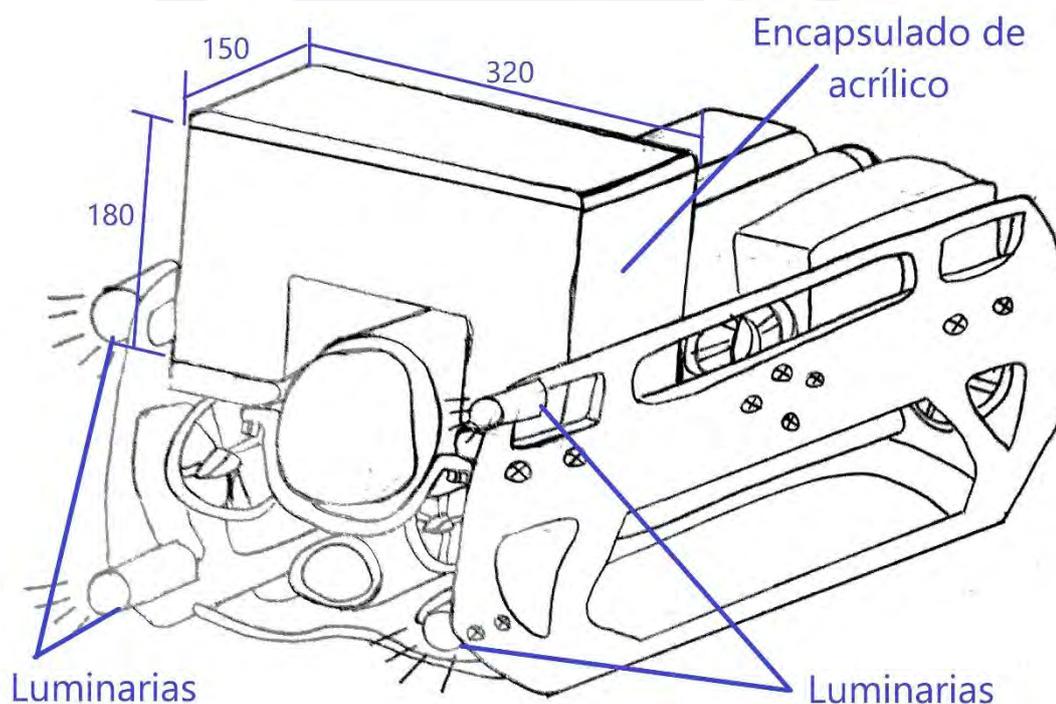


Figura 2.14: Isométrico del concepto de solución 2. Elaboración propia.

El compartimiento anterior tipo puente sería fabricado de una sola plancha de acrílico mediante dobleces y uniones con cloroformo, esto con la finalidad de tener un compartimiento hermético. Por otro lado, la tapa sería integrada a este por presión y mediante 2 sellos, los cuales otorgarían la hermeticidad al sistema. El detalle de dicha unión se muestra a continuación en la Figura 2.15.

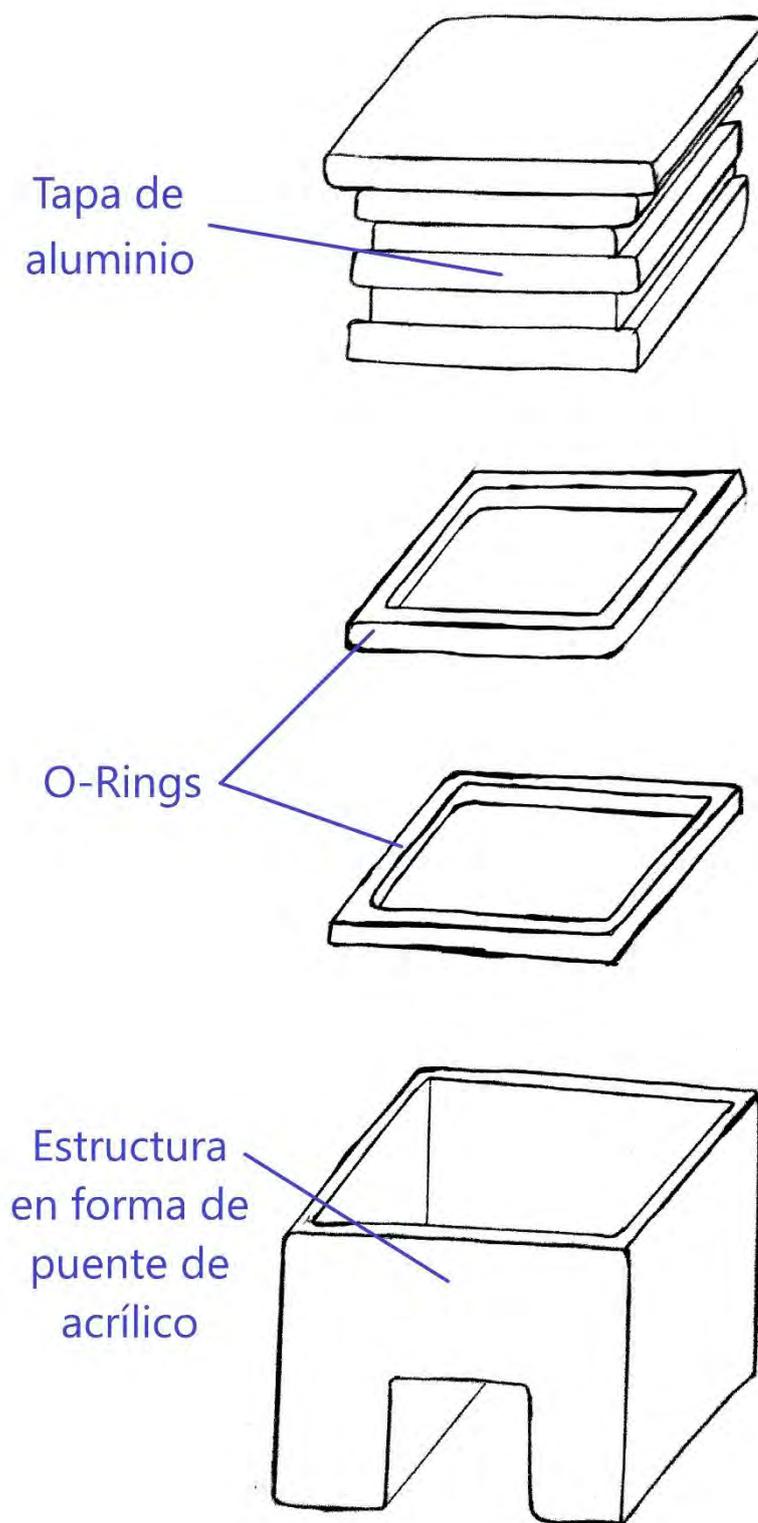


Figura 2.15: Sellado de estructura adicional del concepto de solución 2. Elaboración propia.

Por otro lado, el interior vendría dado por dos planchas de aluminio unidas por un tornillo de sujeción. En la plancha inferior se ubicarían la fuente conmutada, un circuito regulador de voltaje adicional y dos bloques encargados de sostener a las cámaras. La distribución anteriormente mencionada se muestra en la Figura 2.16.

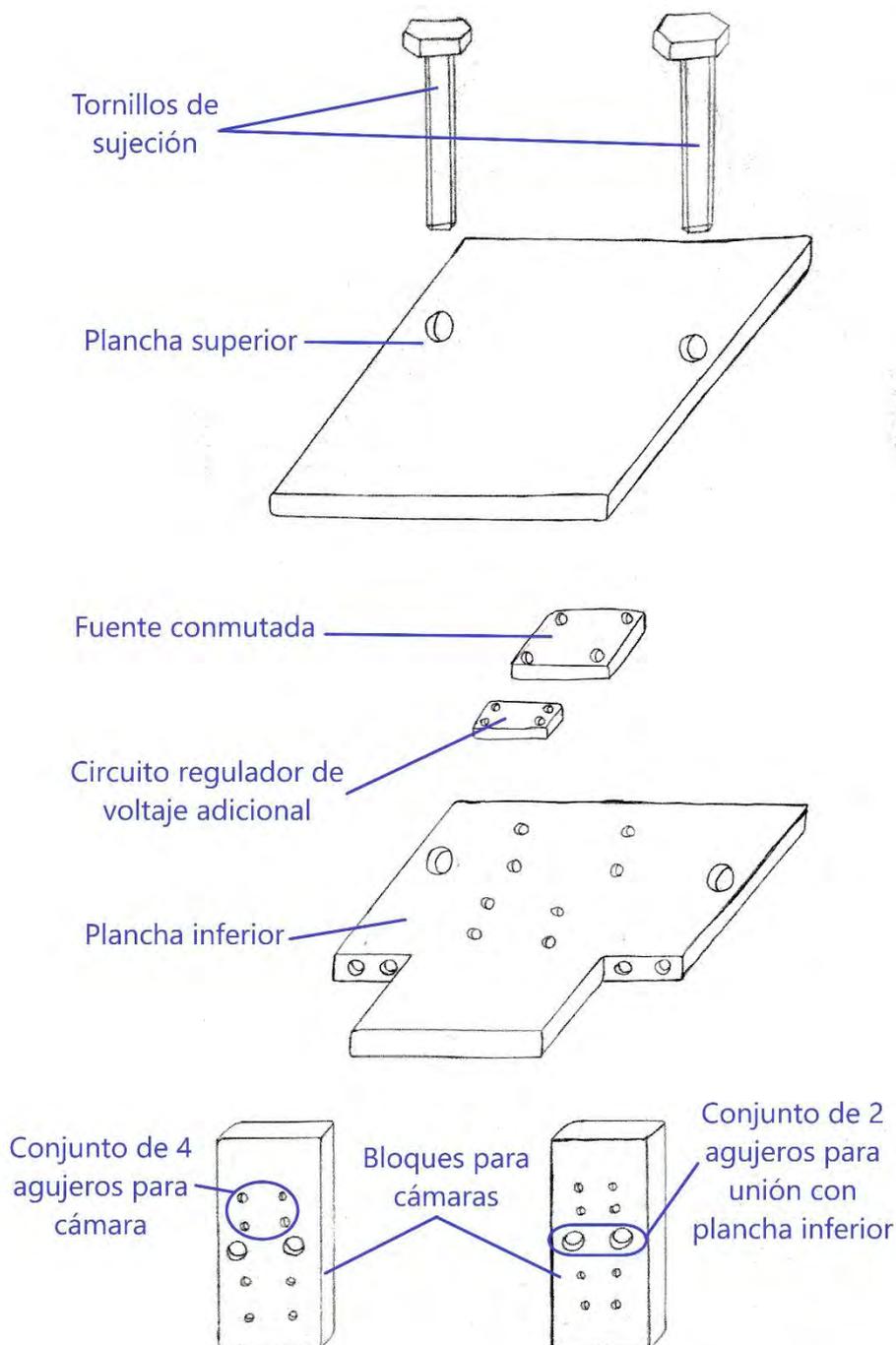


Figura 2.16: Distribución interna del sistema adicional del concepto de solución 2. Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 2.17 se muestra un bosquejo de cómo se verían las cámaras ubicadas en los bloques señalados en la Figura 2.16.

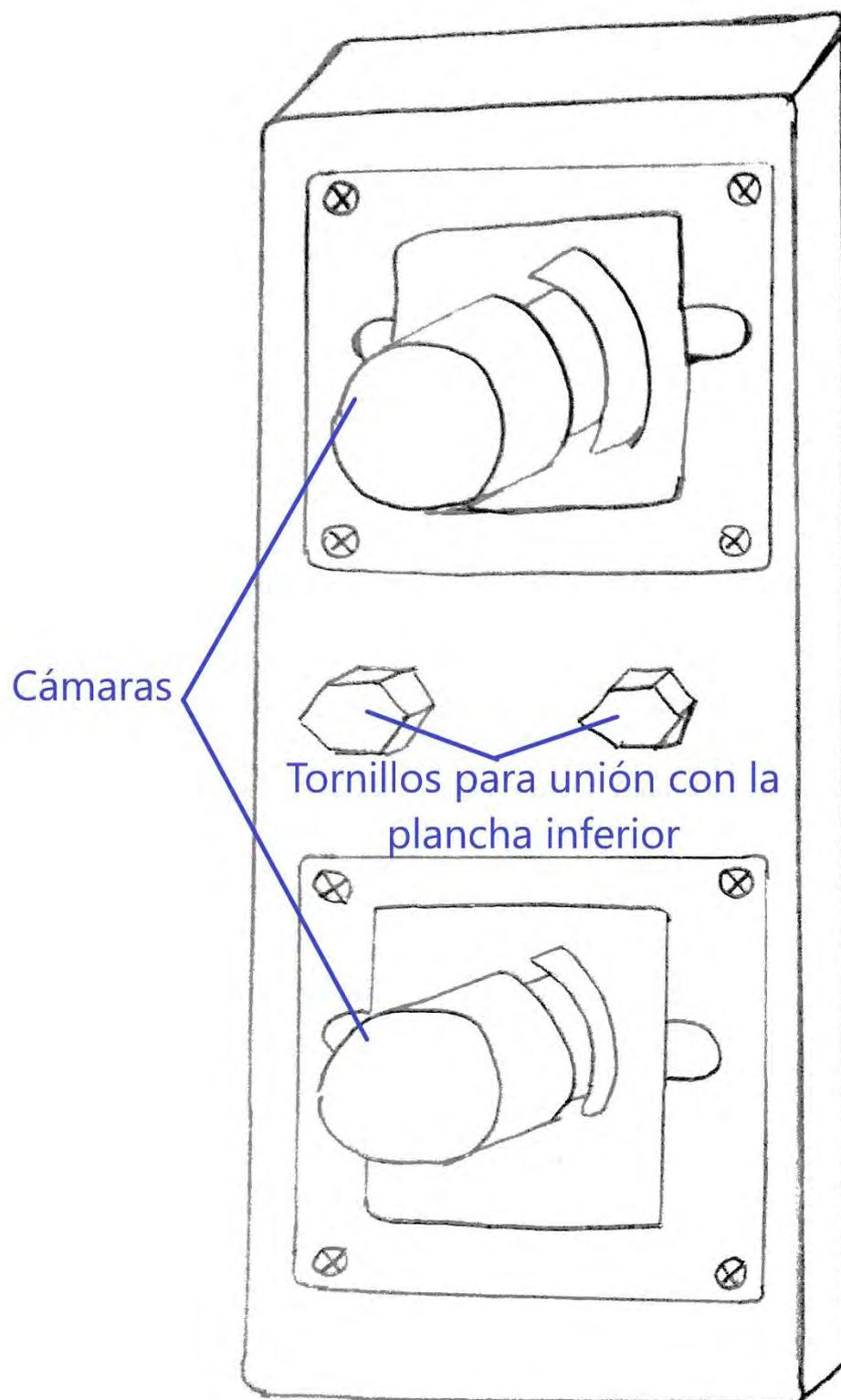


Figura 2.17: Cámaras del concepto de solución 2. Elaboración propia.

Para el caso del sensor de presión y cables la conexión sería la misma que la mostrada en la Figura 2.11, ubicándose en la tapa superior mostrada en la Figura 2.15.

### 2.4.3 Concepto de solución 3

Para el concepto de solución 3 se escogió el ROV Fathom One (ver Figura 2.18), del cual se modificará su interior para agregar el sistema de visión y los reguladores de voltaje. Por otro lado, para colocar el sensor de profundidad se usará una estructura adicional basada en diseños ya existentes para para este vehículo.

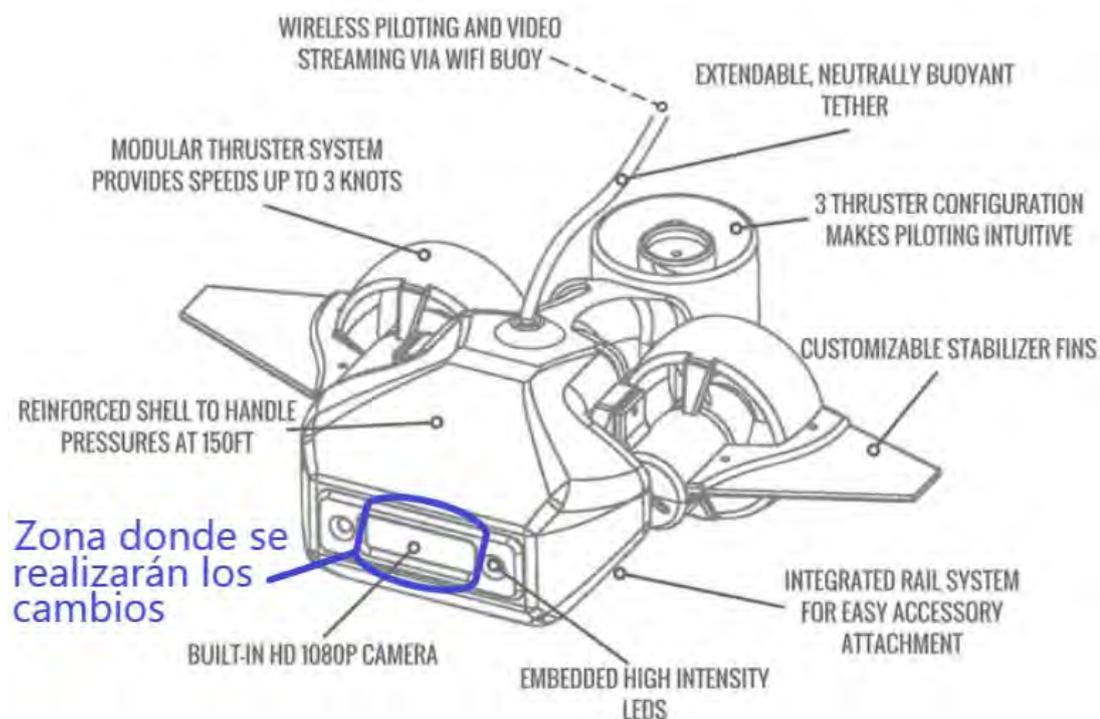


Figura 2.18: Vehículo sumergible Fathom One. Adaptado de (Fathom, 2019).

Cabe resaltar que los cambios desarrollados se han hecho basados que las piezas interiores del ROV son removibles o se puedan reacomodar de manera que todos los componentes necesarios encajen. Esto debido a que, los planos mecánicos del vehículo no son libres, por ende, no se conoce la exacta disposición de sus dispositivos internos.

Para la disposición interna, se cambiaría la cámara y los reguladores de voltaje que tenga el sistema. Mientras que el sensor de profundidad que se tiene que integrar, será colocado externamente, por ello, es importante que este sensor sea hermético, como se presentó en la tabla 2.2 de la matriz morfológica.

A continuación, en la Figura 2.19 se muestra la disposición de los componentes internos a agregar.

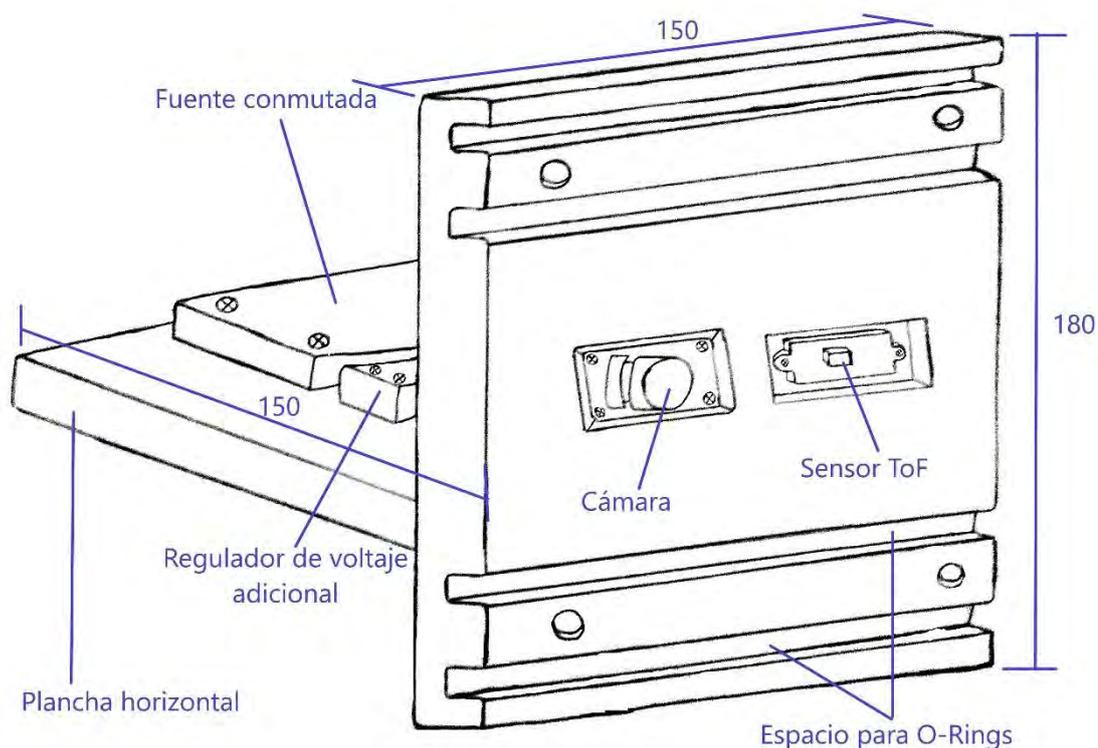


Figura 2.19: Componentes internos del concepto de solución 3. Elaboración propia.

En la anterior imagen se observa la disposición de la fuente conmutada y el regulador de voltaje, que se ubican sobre una plancha horizontal en la parte posterior. Por otro lado, en la parte frontal se encuentra en el sensor ToF que proporcionaría la distancia a los peces y la cámara que grabaría a los mismos.

En la Figura 2.20 se muestra una posible unión entre conjunto presentado en la Figura 2.19 y la tapa delantera del ROV Fathom One, de manera que la unión entre estos sea hermética.

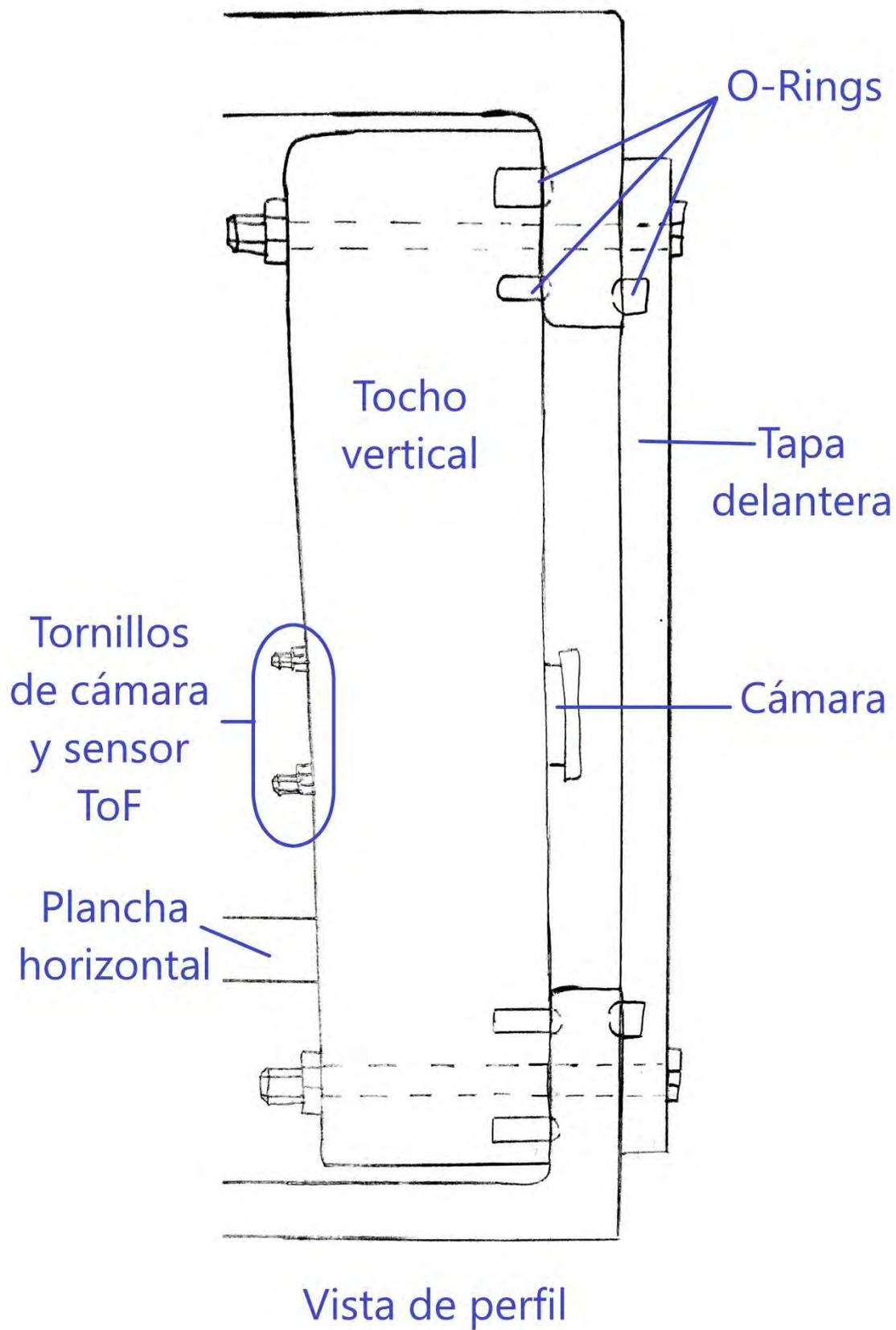


Figura 2.20: Unión delantera del concepto de solución 3. Elaboración propia.

Para una mejor orientación, se muestra en la Figura 2.21 las cavidades que tendría el tocho vertical de la Figura 2.20 para poder ubicar y fijar los componentes mencionados anteriormente.

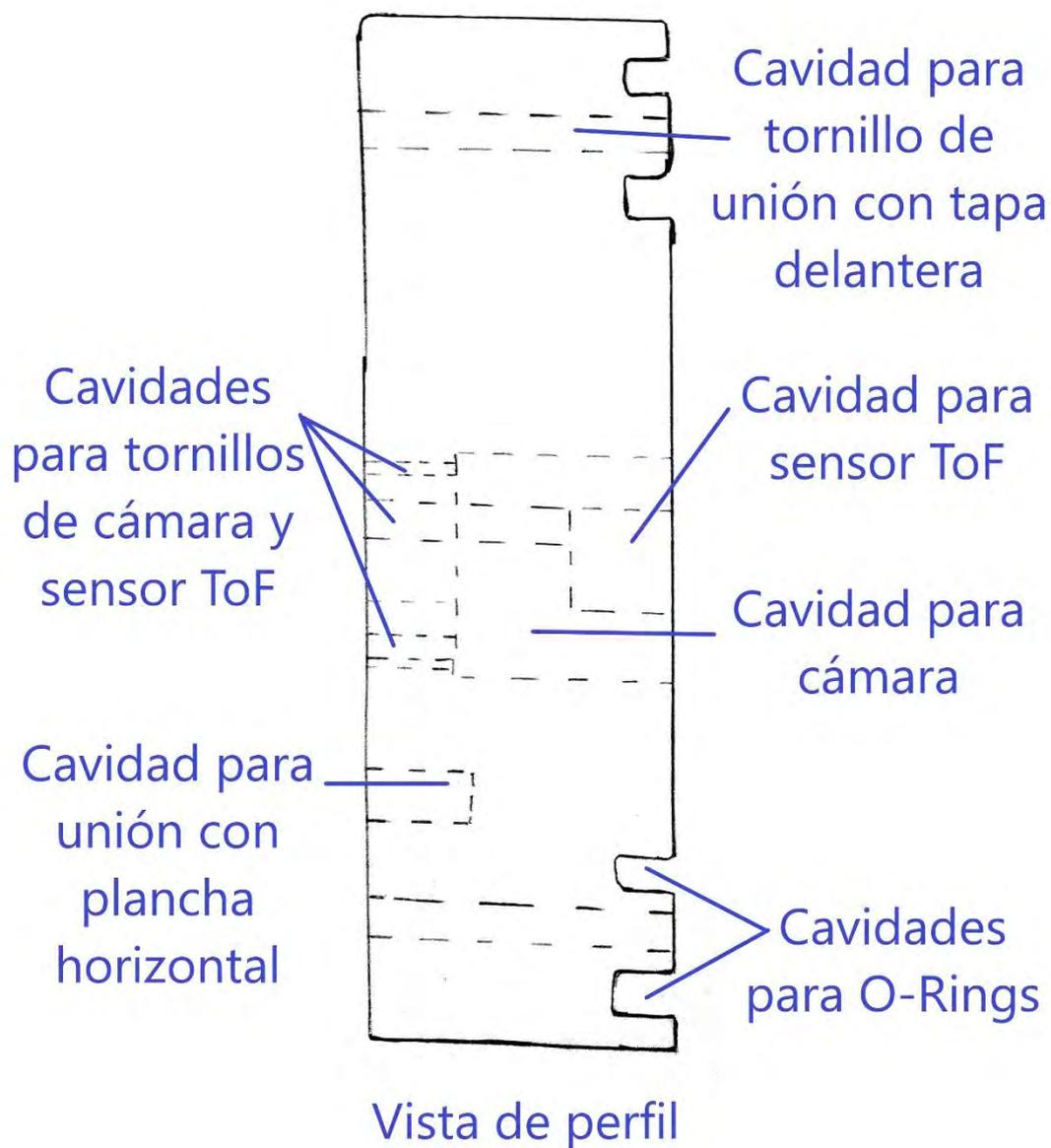


Figura 2.21: Vista de perfil del tocho vertical del concepto de solución 3. Elaboración propia.

Adicionalmente, en la Figura 2.22 se muestra la vista posterior del tocho vertical. En esta vista se puede notar mejor manera la ubicación de los todos los tornillos con sus respectivas tuercas y, además, cuatro agujeros, dos ubicados en la parte media y dos en la parte baja. Los agujeros ubicados en la parte media serán usados para el paso de los cables de los sensores (Cámara y ToF), mientras que los dos inferiores, serán usados para la unión con la plancha horizontal.

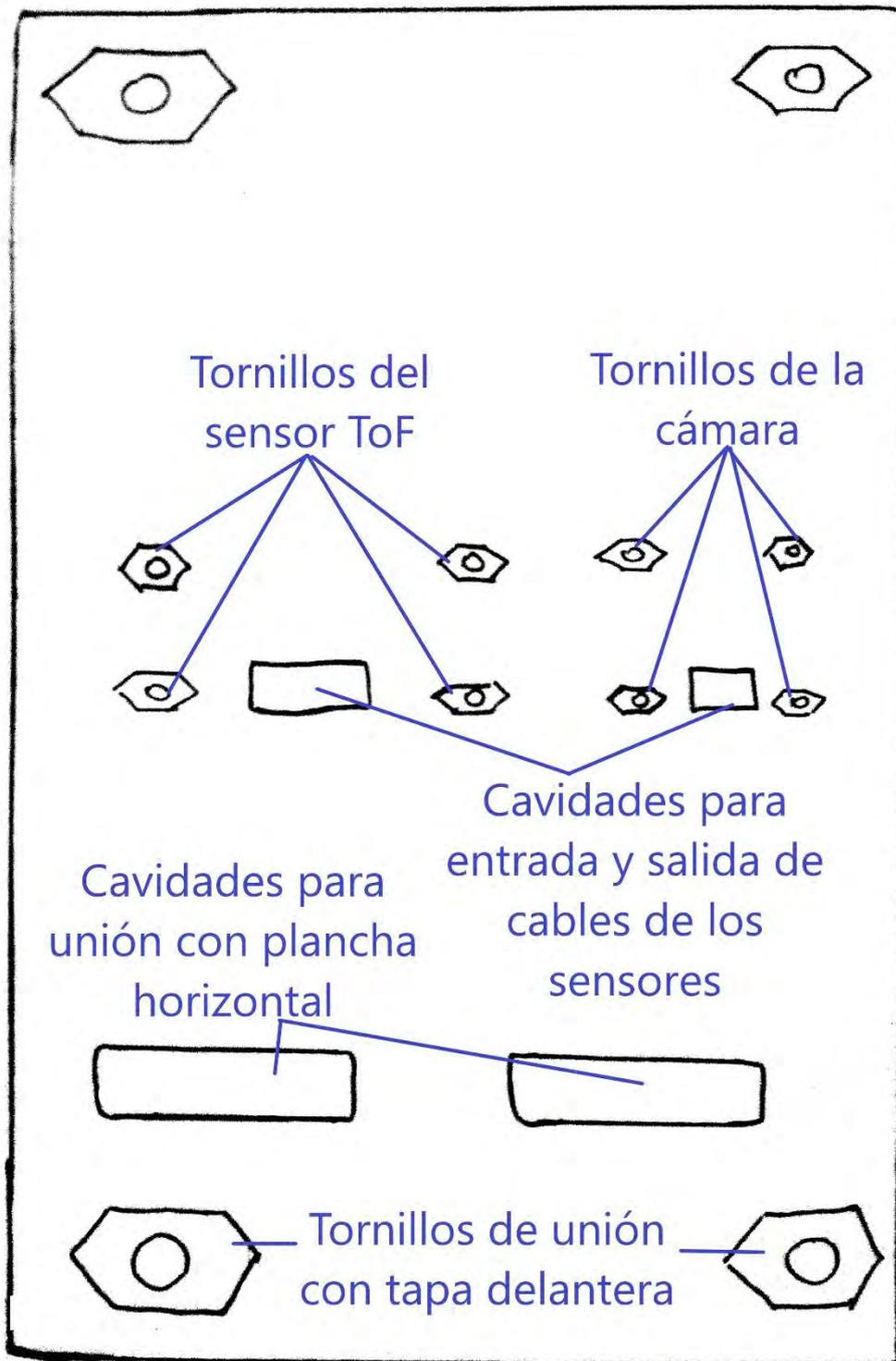


Figura 2.22: Vista de posterior del tocho vertical del concepto de solución 3. Elaboración propia.

La forma necesaria de la plancha horizontal para su encaje con el tocho vertical y la disposición de los componentes sobre ella se muestra en la Figura 2.23, desde una vista superior.

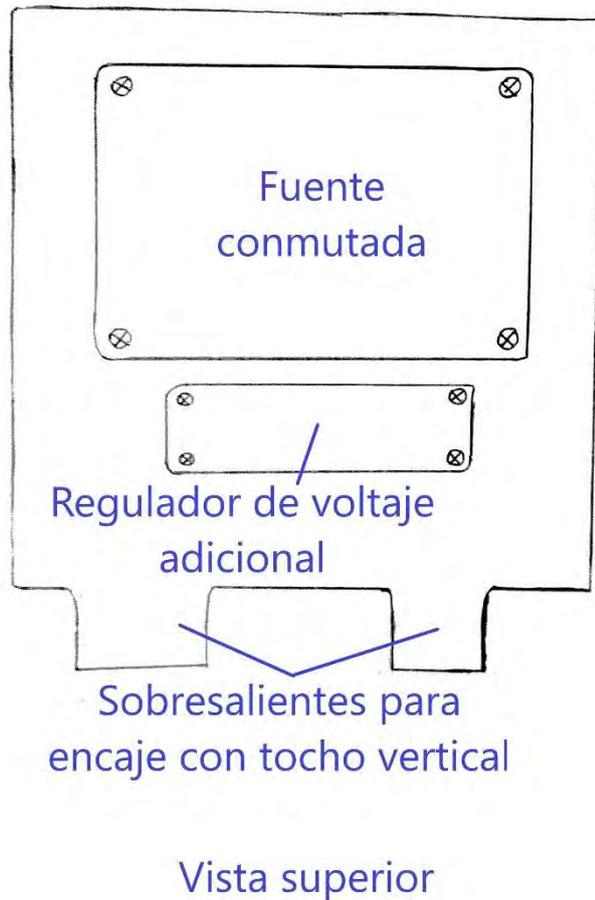


Figura 2.23: Vista superior de placa horizontal del concepto de solución 3. Elaboración propia.

Finalmente, el sensor de profundidad será añadido al ROV mediante una estructura ya existente y fabricada por los mismos diseñadores del Fathom One, esta mostrada en la Figura 2.24 y que se ubica en la parte inferior del vehículo.



Figura 2.24: Integración del sensor de profundidad del concepto de solución 3. Adaptado de (Fidel, 2016).

## 2.5 Evaluación técnico-económica

En la presenta sección se realiza la evaluación técnico económica a los tres conceptos de solución presentados anteriormente.

Los criterios técnicos que se han decidido evaluar son:

- Capacidad de adquisición del video: Este criterio se refiere a la capacidad del sistema de visión para capturar la mayor cantidad de información del cardumen mediante sensores, es decir, a mayor cantidad de sensores, mayor será la cantidad de información obtenida del cardumen.

Este criterio es de vital importancia, debido a que, si se usarán pocas cámaras, es posible que se tome datos únicamente de una parte del cardumen, y no de su totalidad. Por ello, se le asignado un peso de 4, pues el fin del proyecto es estimar la población juvenil, adulta y total del cardumen.

- Capacidad de procesamiento: Este criterio está referido a la capacidad y tiempo que le toma al software (programa y lenguaje) procesar una gran cantidad de imágenes y/o videos.

Debido a que, si bien se desea que el tiempo de procesamiento sea menor a 5 minutos, esto no es un requisito. Por ello, se ha asignado a este criterio un peso de 2.

- Distancia de adquisición del video: Este criterio se refiere al distanciamiento máximo que puede existir entre el sistema de visión y las anchovetas sin que se pierdan datos de las especies. Cabe resaltar que grandes distancias son mejores debido a que no habría la necesidad de acercarse tanto a los peces, evitando así que estos se puedan asustar y huir. Por ello, a este criterio se le ha asignado un peso de 3.

- **Velocidad del vehículo:** Este criterio es importante debido a que el cardumen podría estar en movimiento, y en dicha situación, el ROV tendría que ser capaz de perseguir a los peces para poder obtener los datos de estos. Es por esto que a este criterio se le asignado un peso de 3.
- **Profundidad:** Este criterio está referido a la altura a la cual puede sumergirse el vehículo. Esto es importante debido a que, el ROV debe poder alcanzar como mínimo los 50 metros bajo el nivel del mar para poder observar al cardumen completo. Por ello, a este criterio se le ha asignado un peso de 3.
- **Transportabilidad:** Este criterio está referido a la facilidad con la que el sistema puede ser transportado por una persona. A este criterio se le ha asignado un peso de 1, pues no tiene una influencia directa en el sensado del cardumen y, porque el tiempo que es manipulado por el operario directamente, sin el aplicativo, es mínimo.

A continuación, en la tabla 2.7 se muestra la evaluación técnica realizada, en la cual se puntúan a los conceptos de solución en los criterios descritos anteriormente.

Tabla 2.7: Evaluación técnica de los conceptos de solución. Elaboración propia.

| Evaluación técnica   |                                    |          |                        |     |                        |     |                        |     |             |     |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------------------|-----|------------------------|-----|------------------------|-----|-------------|-----|
| Nro                  | Criterio                           | Peso (g) | Concepto de solución 1 |     | Concepto de solución 2 |     | Concepto de solución 3 |     | Ideal       |     |
|                      |                                    |          | Puntaje (p)            | p*g | Puntaje (p)            | p*g | Puntaje (p)            | p*g | Puntaje (p) | p*g |
| 1                    | Capacidad de adquisición del video | 4        | 3                      | 12  | 3                      | 12  | 2                      | 8   | 4           | 16  |
| 2                    | Capacidad de procesamiento         | 2        | 3                      | 6   | 1                      | 2   | 2                      | 4   | 4           | 8   |
| 3                    | Distancia de adquisición del video | 3        | 3                      | 9   | 3                      | 9   | 2                      | 6   | 4           | 12  |
| 4                    | Velocidad del vehículo             | 3        | 1                      | 3   | 3                      | 9   | 3                      | 9   | 4           | 12  |
| 5                    | Profundidad                        | 3        | 3                      | 9   | 3                      | 9   | 2                      | 6   | 4           | 12  |
| 6                    | Transportabilidad                  | 1        | 1                      | 1   | 2                      | 2   | 3                      | 3   | 4           | 4   |
| Puntaje máximo/total |                                    |          | 14                     | 40  | 15                     | 43  | 14                     | 36  | 24          | 64  |
| Valor económico Xi   |                                    |          | 0.63                   |     | 0.67                   |     | 0.56                   |     | 1           |     |
| Orden                |                                    |          | 2                      |     | 1                      |     | 3                      |     | -           |     |

En los siguientes párrafos, se presenta el sustento de cada puntaje asignado a cada concepto de solución de acuerdo al criterio técnico.

- Puntajes de acuerdo a la capacidad de adquisición de video: En este caso, todos los conceptos cuentan con al menos una cámara simple y algún sensor adicional para medir distancia, sin embargo, tanto la solución 1 como la 2 cuenta con un sistema de visión compuesto por 3 cámaras estereoscópicas; mientras que, el concepto de solución 3 solo cuenta con una cámara simple y un sensor ToF. Por ello, se calificó a los conceptos 1 y 2 con 3 puntos, pues tienen una mayor cantidad de sensores para adquirir las imágenes desde diferentes ángulos. Por otro lado, el concepto de solución 3 fue puntuado con 2, pues si bien cumple los requisitos, no tiene la misma capacidad que los otros conceptos.
- Puntajes de acuerdo a la capacidad de procesamiento: Para esta evaluación, se ha priorizado el programa y en lenguaje en los cuales se realizará la programación. Puntuándose con 3 a Matlab (concepto 1), por ser el que tiene mayor capacidad de procesamiento de imágenes; a Python (concepto 3) con 2, debido a que, este puede llegar a procesar las imágenes bastante rápido, sin embargo, es probable que no llegue al mismo nivel de detalle que Matlab. Finalmente, al software LabVIEW (concepto 2), fue puntuado con 1 pues tiene la menor capacidad de procesamiento de imágenes ante los softwares anteriores, ya que, es un software destinado control y simulación de sistemas.
- Puntajes de acuerdo a la distancia de adquisición de video: En este caso, se ha puntuado a las cámaras estereoscópicas con 3 debido a que, estas pueden variar su rango de obtención de datos de acuerdo a la distancia a la cual se separan las cámaras y la distancia entre su punto de convergencia (ver Figura 2.25). Por ejemplo, en un trabajo presentado en la Universidad Politécnica de Valencia se presenta la tabla 2.8, de acuerdo al punto de convergencia entre las cámaras.

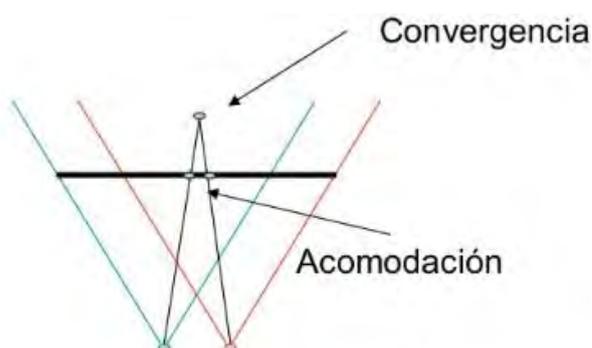


Figura 2.25: Punto de convergencia de cámara estereoscópica. Adaptado de (Leon Santamaria, 2013).

Tabla 2.8: Puntos de convergencia de cámaras estereoscópicas. Adaptado de (Gómez Albiach, 2011).

| Punto de convergencia                |   | Posición del Zoom             |           |
|--------------------------------------|---|-------------------------------|-----------|
| Posición de la rueda de convergencia | Distancia desde la cámara a nuestro punto de convergencia | Z10                           | Z60       |
|                                      |   | Rango de los objetos a grabar |           |
| C20                                  | 2,5 m   | 1,2m 16m                      | 1,8m 4,2m |
| C40                                  | 3,5 m   | 1,6m ∞                        | 2,2m 8m   |
| C60                                  | 5,6 m   | 2m ∞                          | 2,9m 64m  |
| C80                                  | 15 m  | 2,5m ∞                        | 4,4m ∞    |

De la tabla anterior, se puede observar que la mínima distancia de medición es de 1.2 metros, sin embargo, esta puede ser mucho más pequeñas si se variará la distancia entre cámaras, como ya se mencionó. No obstante, esta distancia supera a la distancia máxima medida por el sensor ToF. Por dicha razón, y porque, las cámaras tienen un rango de detección muy amplio, se ha puntuado a los conceptos 1 y 2 con 3 puntos en este criterio. Por otro lado, el concepto de solución 3 al tener un menor rango de detección ha sido calificado con 2 puntos. Cabe resaltar que, para la puntuación también se ha considerado la cantidad de luces que tiene cada sistema. Por ejemplo, el concepto 3 tiene la menor puntuación debido a que, solo cuenta con un led, mientras que los conceptos 1 y 2 cuentan con un total de 4 leds.

- Puntajes de acuerdo a la velocidad del vehículo: En este criterio, se ha puntuado con 3 a los conceptos 2 y 3 debido a que ambos ROVs alcanza velocidades de 1.5 (mostrado en la tabla 1.8). Por lo que, ambos cumplen el requisito de superar la velocidad de nado de las anchovetas, la que se encuentra entre 0.55 m/s y 0.95 m/s (INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ, IMARPE, 2011). Por otro lado, el concepto de solución 1 ha sido puntuado con 1 pues, aunque usa el mismo vehículo que el concepto de solución 2, este presenta un aproximado de dimensiones muchas más grande (350 x 320 x 200 mm solo el sistema adicional). Lo cual posiblemente provoque que este concepto no pueda alcanzar la velocidad de 1.5 m/s.
- Puntajes de acuerdo a la profundidad: Para la evaluación de este criterio, se debe recordar que la profundidad a la que debe llegar el vehículo debe ser de

50 metros (detallado en la lista de exigencias). Basados en ello, se ha otorgado a los conceptos 2 y 3 un puntaje de 3 debido a que estos pueden llegar hasta los 100 metros de profundidad y al concepto 3 un puntaje de 2, ya que, este solo llega hasta 45 metros de profundidad (los datos mencionados han sido presentados en la tabla 1.8).

- Puntajes de acuerdo a la transportabilidad: La evaluación en este criterio ha sido basada en los tamaños finales de cada concepto. Observándose que el concepto 3 tienen dimensiones aproximadas de 203 x 152 x 101 mm, siendo el más pequeño de todos y, por ende, el más fácil de transportar. Por ello, ha obtenido una puntuación de 3. Por otro lado, el concepto de solución 2 tiene un tamaño aproximado de 457 x 338 x 300 mm, siendo el segundo más pequeño, por lo que obtuvo un puntaje de 2. Por último, el concepto de solución 1 es el concepto más grande, con un tamaño aproximado de 457 x 338 x 454 mm, por lo que obtiene el menor puntaje (1).

Por otro lado, en la evaluación económica se han considerado los siguientes criterios:

- Consumo de energía: Este criterio se refiere a la cantidad de energía que utiliza el sistema mientras está activo. Considerándose un peso de 2 debido a que la energía se obtiene de un generador de corriente y debido a que el sistema no será usado durante un largo periodo de tiempo (se estima su uso en un tiempo menor a 1 hora).
- Costo de diseño: Este criterio se refiere al costo que implicaría el diseño total del sistema. Como para el proyecto se considera por igual el costo del diseño del programa en software para los 3 conceptos de solución (procesamiento de imágenes y obtención de datos), y en el área mecánica el diseño es reducido debido a que se está realizando modificaciones a un ROV preexistente, y no construyéndolo desde cero, se considera que el presente criterio no es de gran relevancia para la selección del concepto de solución óptimo. Por ello, se le ha asignado un peso de 1.

- **Costo de tecnología:** Este criterio se refiere al costo de los componentes que conforman el sistema, considerándose un peso de 2 debido a que, si bien no se tienen muchos adicionales en el área mecánica, las cámaras y fuentes reguladoras necesarias pueden presentar precios elevados.
- **Facilidad de adquisición de piezas:** Este criterio se refiere a la facilidad con la que se podrían obtener las piezas. Para este, se ha considerado un peso de 3, pues el costo de obtener los componentes desde países extranjeros es muy elevado, con respecto al costo que se requeriría de obtenerlos de empresas nacionales.
- **Facilidad de montaje:** Este criterio se refiere a la facilidad con la que una persona podría modificar el ROV para convertirlo en el nuevo sistema, aquí se considera el tipo de uniones y el grado de exactitud con las que estas se tienen que realizar, además, de la ubicación de los componentes y la manera en que estos deben ser montados. A este criterio se le ha asignado un peso de 2, ya que, se considera que para los 3 conceptos el usuario podría modificar el ROV correspondiente a estos con facilidad si contara con un manual o video guía, es decir, no sería necesario capacitar a una persona adicional para que realice el ensamblaje por el usuario.

A continuación, se presenta la tabla 2.9, en la cual se presenta la evaluación económica realizada basados en los criterios mencionados anteriormente.

Tabla 2.9: Evaluación económica de los conceptos de solución. Elaboración propia.

| Evaluación económica |                                    |          |                        |     |                        |     |                        |     |             |     |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------------------|-----|------------------------|-----|------------------------|-----|-------------|-----|
| Nro                  | Criterio                           | Peso (g) | Concepto de solución 1 |     | Concepto de solución 2 |     | Concepto de solución 3 |     | Ideal       |     |
|                      |                                    |          | Puntaje (p)            | p*g | Puntaje (p)            | p*g | Puntaje (p)            | p*g | Puntaje (p) | p*g |
| 1                    | Consumo de energía                 | 2        | 1                      | 2   | 1                      | 2   | 3                      | 6   | 4           | 8   |
| 2                    | Costo de diseño                    | 1        | 1                      | 1   | 3                      | 3   | 2                      | 2   | 4           | 4   |
| 3                    | Costo de la tecnología             | 2        | 1                      | 2   | 2                      | 4   | 3                      | 6   | 4           | 8   |
| 4                    | Facilidad de adquisición de piezas | 3        | 3                      | 9   | 3                      | 9   | 3                      | 9   | 4           | 12  |
| 5                    | Facilidad del montaje              | 2        | 1                      | 2   | 3                      | 6   | 2                      | 4   | 4           | 8   |
| Puntaje máximo/total |                                    |          | 7                      | 16  | 12                     | 24  | 13                     | 27  | 20          | 40  |
| Valor económico Yi   |                                    |          | 0.4                    |     | 0.6                    |     | 0.68                   |     | 1           |     |
| Orden                |                                    |          | 3                      |     | 2                      |     | 1                      |     | -           |     |

Al igual que en la evaluación económica, a continuación, se sustentan los puntajes asignados a cada concepto, según el criterio económico correspondiente.

- Puntajes de acuerdo al consumo de energía: la calificación en este criterio se ha basado en la cantidad de actuadores y sensores que tiene cada solución. Por ejemplo, los conceptos de solución 1 y 2 tienen igual cantidad de dispositivos electrónicos (6 cámaras simples, 6 motores, 1 sensor de profundidad, 2 microcontroladores, 4 leds, entre otros) y, además, estos son muchos más que los que presenta el concepto de solución 3 (este concepto solo tiene 1 cámara, 1 sensor ToF, 3 motores, 1 microcontrolador, 1 led, entre otros). Por ello, se asume que los conceptos 1 y 2 consumirán mucha más energía durante su operación que el concepto de solución 3. Por ello, se ha puntuado a los conceptos 1 y 2 con 1 punto, mientras que al concepto 3 con 3 puntos.
- Puntajes de acuerdo al costo de diseño: Para la evaluación de este criterio se ha considerado la dificultad que representaría el diseño. Observándose las Figuras 2.3, 2.14 y 2.19, que representan a los conceptos de solución 1, 2 y 3 respectivamente; se deduce que el concepto de solución más complicado de diseñar es el primero. Esto debido, a la gran cantidad de componentes (aproximadamente 25 entre mecánicos y electrónicos adicionales) y disposición de los mismos respecto al resto. Por ello, este obtiene un puntaje de 1. En cambio, se puede notar que los conceptos 2 y 3 son más sencillos de diseñar y, por ende, menos costosos en dicho campo. Sin embargo, los fabricantes no otorgan los planos del ROV del concepto de solución 3, por lo que, el diseño de dicho concepto se hace más complicado que el del concepto de solución 2, del cual si se cuentan con los planos. Por esta razón, el concepto de solución 3 ha sido calificado con 2 puntos y el concepto de solución 2 con 3 puntos.
- Puntajes de acuerdo al costo de la tecnología: Para esta evaluación se nota que, al tener los conceptos 1 y 2 mayor cantidad de componentes electrónicos que el concepto 3, como se mencionó en los puntajes de acuerdo al consumo de energía, se deduce que los conceptos 1 y 2 presentarán un costo de dispositivos

electrónicos similar entre ellos, y a la vez mayor que el del concepto de solución 3. Sin embargo, se debe resaltar que el concepto de solución 1 presenta muchos más componentes estructurales que el concepto 2, haciéndolo más costoso que este. Por ello, según el orden de costos, se han calificado a los conceptos 1, 2 y 3, con 1, 2 y 3 puntos respectivamente.

- Puntajes de acuerdo a la facilidad de adquisición de las piezas: En este criterio, se ha puntuado a los 3 conceptos con el puntaje de 3 debido a que, todos los componentes son encontrados en empresas semejantes, que se dedican a la venta de ROVs y sus diversos accesorios.
- Puntajes de acuerdo a la facilidad de montaje: En esta evaluación se ha considerado que el concepto más difícil de ensamblar es el primero, esto debido a que posee muchos más componentes estructurales que los otros dos conceptos. Por ello, se le ha asignado un puntaje de 1. Por otro lado, el concepto de solución 3 tiene un puntaje de 2 debido a que, los planos del ROV inicial no son libres. Siendo el más fácil de ensamblar el concepto de solución 2, en el cual se quitarían 2 componentes y mediante tornillos se uniría el nuevo encapsulado, por esta razón, este tiene un puntaje de 3.

Finalmente, con las puntuaciones finales de cada solución se realizó la gráfica mostrada en la Figura 2.26. En dicha gráfica se comparan las calificaciones obtenidas por cada concepto de solución, y también se muestra la calificación de concepto de solución ideal. Representándose el ámbito económico en el eje “Y” y el técnico, en el eje “X”.

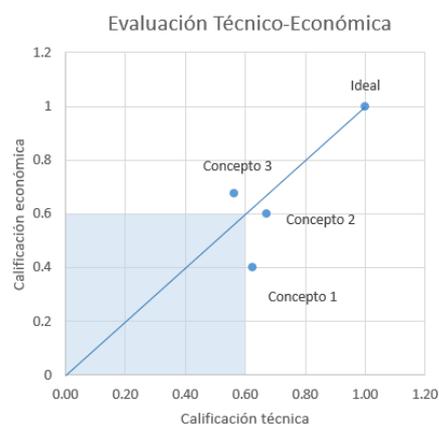


Figura 2.26: Evaluación técnico económica de los conceptos solución. Elaboración propia.

De la figura anterior se puede observar los 3 conceptos son posibles, ya que ninguno cae dentro del recuadro celeste. Además, se nota que el concepto 2 es el que se encuentra más cerca al concepto de solución ideal y también es el que tiene una menor distancia a la recta que une el origen con el concepto de solución ideal. Por ello, el concepto de solución 2 es el concepto elegido como el concepto de solución ganador.

## 2.6 Concepto de solución óptimo

Como ya se tiene el concepto de solución ganador, en esta sección se evaluará los cambios que podrían hacerse con la finalidad de mejorarlo y volverlo el concepto de solución óptimo. Para esto, observaremos las tablas de evaluación técnica y económica ya presentadas, 2.6 y 2.8 respectivamente, y buscamos los criterios en los que este tenga una puntuación menor a los otros. Una vez identificado el criterio en el que este concepto tiene una puntuación menor se basará la modificación de mejora en el concepto cuya puntuación sea la más alta en dicho criterio. Para el caso del concepto ganador (concepto de solución 2) se observar en la tabla 2.6 que el concepto elegido tiene una menor puntuación en la capacidad de procesamiento de imágenes que los otros dos conceptos. Siendo esto, debido al programa y lenguaje que se utiliza para dicho procesamiento. Dicho software podría ser cambiado por uno de mejor puntuación, por ejemplo, se observa de la misma tabla que el concepto de solución 1 tiene el mejor puntaje (3) en dicha categoría. Por esta razón, el software usado para el procesamiento de la solución 2 será cambiado por el que usa el concepto de solución 1, es decir, ahora el concepto de solución usaría el programa Matlab y el lenguaje de alto nivel para la programación. A continuación, en la Figura 2.27, se muestra un modelo preliminar del concepto de solución óptimo.



Figura 2.27: Modelo preliminar del concepto de solución óptimo. Elaboración propia. Recopilado de (Blue Robotics Inc, s.f.), (Huawei, s.f.), (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018).

## CONCLUSIONES

- Se investigó sobre protocolos y normas de pesca, tecnologías existentes para resolver la problemática y acerca de los usuarios que estarían interesados en el proyecto. Se encontró que actualmente no hay una solución directa para evitar la pesca de juveniles, solo existen medidas para reducir dicha actividad. De esta manera se verificó lo beneficioso y factible que es el proyecto.
- Se desarrolló la estructura de funciones del proyecto integrado (estación en la embarcación y vehículo sumergible) mediante la abstracción de este, encontrándose las funciones y la secuencia en las cuales estas deberían realizarse para contabilizar apropiadamente las anchovetas en el cardumen. Entre estas podemos mencionar a sensor el cardumen de anchovetas, desplazamiento vertical y horizontal del sistema, activar sistemas de iluminación, transmitir en tiempo real, procesar imágenes, entre otras. Estas funciones fueron agrupadas en los dominios mecánico, sensores, actuadores, energía, etc.
- Se desarrolló las matrices morfológicas del proyecto clasificadas según el dominio, en las cuales se presentó hasta 4 tecnologías que podrían usarse para desempeñar las funciones anteriormente. Con estas, se obtuvieron 3 conceptos de solución. El concepto de solución 1 representado principalmente por un gran tamaño, visión desde diferentes ángulos y por su número de cámaras (6). Por otro lado, en el segundo concepto se destaca también el mismo número de cámaras, sin embargo, este es de mucho menor tamaño que el primero. Finalmente, del tercer concepto se resalta su pequeño tamaño y facilidad de movimiento, notándose también, que posee 1 cámara y un sensor ToF. Dichos conceptos fueron evaluados técnica y económicamente con la finalidad de obtener el concepto de solución ganador, el cual posteriormente, se mejoró su software y se convirtió en el concepto de solución óptimo a diseñar.
- Se elaboró el diseño conceptual del concepto de solución óptimo. Este cuenta con 6 cámaras estereoscópicas, un tamaño aproximado de 457x338x300 mm, 6 propulsores, 4 leds y 2 microcontroladores.

## BIBLIOGRAFÍA

- AliExpress. (s.f.). AliExpress. Recuperado el 21 de abril de 2020, de [https://es.aliexpress.com/item/32845979854.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.d3393f5cEvzgXo&algo\\_pvid=3feb8fe2-35a6-4a0c-8000-2b4802e93da8&algo\\_expid=3feb8fe2-35a6-4a0c-8000-2b4802e93da8-19&btsid=0ab6fa7b15872515980628880e515f&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,s\\_earchw](https://es.aliexpress.com/item/32845979854.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.d3393f5cEvzgXo&algo_pvid=3feb8fe2-35a6-4a0c-8000-2b4802e93da8&algo_expid=3feb8fe2-35a6-4a0c-8000-2b4802e93da8-19&btsid=0ab6fa7b15872515980628880e515f&ws_ab_test=searchweb0_0,s_earchw)
- AliExpress. (s.f.). AliExpress. Obtenido de AliExpress: <https://es.aliexpress.com/i/4000854550396.html?spm=a219c.12057483.0.0.767a4ed5DDZEby>
- Álvarez, F. (22 de junio de 2018). El android libre. Obtenido de El android libre: <https://elandroidelibre.elespanol.com/2018/06/medir-realidad-aumentada-app-google.html>
- Ayestarán, L. (2018). Localización de objetos en imágenes mediante técnicas de aprendizaje profundo. (Tesis de licenciatura). Universidad de la Rioja, Logroño.
- Blue Robotics Inc. (s.f.). Blue Robotics. Obtenido de Blue Robotics: <https://bluerobotics.com/store/watertight-enclosures/6-series/wte6-asm-r1/>
- Blue Robotics Inc. (s.f.). BlueRobotics. Recuperado el 21 de abril de 2020, de BlueRobotics: <https://bluerobotics.com/store/rov/bluerov2/>
- Boletín Agrario. (s.f.). Boletín Agrario. Obtenido de Boletín Agrario: <https://boletinagrario.com/ap-6,pesca+costera,969.html>
- BOWTECH. (s.f.). NauticEXPO, EL SALÓN ONLINE DEL SECTOR NÁUTICO Y MARINO. Obtenido de NauticEXPO: <https://pdf.nauticexpo.es/pdf-en/bowtech-products/3d-sd-high-resolution-underwater-standard-definition-stereoscopic-video/39792-67537.html#open>
- Bringsdal, E. (2012). Patente nº WO2014098614A1.
- Carrere, M. (12 de febrero de 2019). MONGABAY. Recuperado el 12 de abril de 2020, de <https://es.mongabay.com/2019/02/oceanos-harina-de-pescado-ilegal-peru/>
- Curi, P. (18 de abril de 2007). Monografías. Obtenido de Monografías: <https://www.monografias.com/trabajos45/anchoveta-peruana/anchoveta-peruana2.shtml>
- De la Morena, R. (s.f.). Muy Interesante. Obtenido de Muy Interesante: <https://www.muyinteresante.es/tecnologia/articulo/un-dron-100-submarino-modular-y-con-camara-incluida-391473063174>

- ECURED. (s.f.). ECURED. Obtenido de ECURED:  
<https://www.ecured.cu/Anchoveta>
- ESPESCA. (s.f.). ESPESCA. Obtenido de ESPESCA: <https://espesca.com/la-pesca-industrial/>
- Euronews. (7 de agosto de 2017). euronews. Recuperado el 17 de abril de 2020, de <https://es.euronews.com/2017/08/07/robots-en-las-profundidades-marinas>
- Fan, L. Z. (2015). China Patente nº CN105066885A.
- FAO. (noviembre de 2003). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/es/PER/body.htm>
- Fathom. (15 de abril de 2019). Kick Starter. Obtenido de Kick Starter:  
<https://www.kickstarter.com/projects/1359605477/fathom-one-the-affordable-modular-hd-underwater-dr?lang=es>
- Fidel. (18 de octubre de 2016). Drones player. Obtenido de <https://dronesplayer.com/uav-drone/fathom-one-underwater-drone-%E6%B0%B4%E4%B8%AD%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F-%E5%85%BC%E5%85%B7%E6%A8%A1%E7%B5%84%E5%8C%96%E6%93%B4%E5%85%85%E8%83%BD%E5%8A%9B/>
- FIS. (20 de enero de 2020). FIS, Fish Information and Services. Obtenido de FIS:  
<https://www.fis.com/fis/worldnews/worldnews.asp?monthyear=&day=20&id=106058&l=s&special=0&ndb=0>
- Foronda. (28 de noviembre de 2017). Foronda. Obtenido de Foronda:  
<https://foronda.pe/exigimos-la-renuncia-de-ministro-olaechea-por-pesca-de-anchoveta-juvenil/>
- García, E. (2008). Detección y clasificación de objetos dentro de un salón de clases empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes. (tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México.
- GESTIÓN. (19 de agosto de 2014). GESTIÓN, ECONOMÍA. Recuperado el 17 de abril de 2020, de <https://gestion.pe/economia/produce-interviene-64-embarcaciones-industriales-e-incauta-2-630-toneladas-anchoveta-juvenil-66061-noticia/?ref=gesr>
- GESTIÓN. (15 de noviembre de 2015). GESTIÓN, ECONOMÍA. Recuperado el 18 de abril de 2020, de <https://gestion.pe/economia/suspensiones-temporales-pesca-evitaron-captura-205-mil-toneladas-anchovetas-juveniles-105054-noticia/?ref=gesr>
- GESTIÓN. (27 de junio de 2019). GESTIÓN, ECONOMÍA. Recuperado el 22 de abril de 2020, de <https://gestion.pe/economia/ministerio-produccion-suspendera-pesca-anchoveta-10-dias-partir-manana-nndc-271515-noticia/>

- Gómez Albiach, J. (2011). Estudio de la grabación y edición de imágenes estereoscópicas para su óptima visualización. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, Gandía.
- Green Facts. (s.f.). Green Facts, Facts on Health and the environment . Obtenido de Green Facts: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/anchoveta-peruana.htm>
- Gulland, J., & Rosenberg, A. (1992). Examen de los métodos que se basan en la talla para evaluar las poblaciones de peces. Londres, Reino Unido: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado el 3 de mayo de 2020, de FAO: <http://www.fao.org/3/t0535s/t0535s02.htm>
- HAYDUK. (s.f.). HAYDUK CORPORACIÓN. Obtenido de HAYDUK: <https://www.hayduk.com.pe/es/ver-noticia/importancia-de-la-anchoveta>
- Horizon 2020. (s.f.). European Commission. Recuperado el 20 de abril de 2020, de <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-transport/blue-growth/dexrov>
- Huawei. (s.f.). Mercado Libre. Obtenido de Mercado Libre: [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-439650933-laptop-huawei-matebook-d14-ssd-512gb-8g-ram-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-439650933-laptop-huawei-matebook-d14-ssd-512gb-8g-ram-_JM)
- Icasio, O., & Viliesid, M. (8 de octubre de 2012). CENAM, Centro de Metrología. Obtenido de CENAM: <http://www.cenam.mx/ammc/eventos/Evento2012/Octavio%20Icasio%20&%20Dr.%20Miguel%20Viliesid%20-%20Estereoscop%C3%ADa%20activa%20en%20mediciones%20tridimensionales,%20prueba%20experimental.pdf>
- IMARPE. (2018). INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ, IMARPE. Recuperado el 15 de abril de 2020, de [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/archivos/informes/informe\\_desarrollo\\_pesca\\_anchoveta\\_sur\\_2018.pdf](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/archivos/informes/informe_desarrollo_pesca_anchoveta_sur_2018.pdf)
- IMARPE. (s.f.). INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ, IMARPE. Obtenido de [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id\\_seccion=I0170010201000000000000](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I0170010201000000000000)
- IMARPE. (s.f.). INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ, IMARPE. Obtenido de IMARPE: [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id\\_seccion=I0172040000000000000000](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I0172040000000000000000)
- INFOPES. (s.f.). INFOPES. Obtenido de <http://tumi.lamolina.edu.pe/infopes/?product=anchoveta-engraulis-ringens>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (7 de abril de 2018). IEEE. Obtenido de IEEE: <https://site.ieee.org/sb-upb/event/taller-de-matlab/>

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ, IMARPE. (2011). Aspecto oceanográficos del mar peruano en el periodo 2002-2008. Callao. Recuperado el 03 de mayo de 2020, de <https://core.ac.uk/download/pdf/47267579.pdf>

La Mar Salao. (8 de noviembre de 2013). La Mar Salao, La Mar es la Sal de mi Vida. Obtenido de La Mar Salao: <http://lamarsalao.com/la-pesca-en-cerco/>

Leon Santamaria, M. (9 de mayo de 2013). SlideShare. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/MariliaLeonSantamaria/vision-estereoscopica>

Ley N° 25977. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú 21 de diciembre de 1992.

Ley N° 29088. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú 24 de abril de 2009.

Martín, C., Chanchón, G., Alarcón, J., Cornejo, R., & Ganoza, F. (julio de 2014). ResearchGate. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos\\_Martin\\_Cespedes/publication/265086059\\_INFORME\\_FINAL\\_CRITERIOS\\_TECNICOS\\_SOBRE\\_REDES\\_DE\\_CERCO\\_ARTESANAL\\_Y\\_ARTES\\_DE\\_PESCA\\_DE\\_ANCHOVETA\\_PARA\\_CONSUMO\\_HUMANO\\_DIRECTO/links/53fe07030cf22f21c2f9ccc1.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Martin_Cespedes/publication/265086059_INFORME_FINAL_CRITERIOS_TECNICOS_SOBRE_REDES_DE_CERCO_ARTESANAL_Y_ARTES_DE_PESCA_DE_ANCHOVETA_PARA_CONSUMO_HUMANO_DIRECTO/links/53fe07030cf22f21c2f9ccc1.pdf)

Martínez, T. (noviembre de 2015). PORTAFOLIO PROFESIONAL, Maestría en Manufactura Integrada por Computador. Obtenido de PORTAFOLIO PROFESIONAL: <https://porprofesionalmic.files.wordpress.com/2015/09/investigacion-documental-transformada-hough.pdf>

Martínez, W. (26 de marzo de 2019). HAYDUK CORPORACIÓN. Obtenido de HAYDUK: <https://www.hayduk.com.pe/es/ver-noticia/actividad-pesquera-walter-martinez-moreno>

MathWorks. (s.f.). MathWorks. Obtenido de MathWorks: <https://www.mathworks.com/help/images/marker-controlled-watershed-segmentation.html>

Matworks. (s.f.). Matworks. Obtenido de Matworks: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/graythresh.html>

MINISTERIO DE PRODUCCIÓN. (20 de febrero de 2015). PLATAFORMA DIGITAL ÚNICA DEL ESTADO PERUANO. Recuperado el 16 de abril de 2020, de <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2015/02/2.5.-PRODUCE-tallas-de-pesca.pdf>

Miñarro, J. (2011). Seguimiento visual y reconstrucción 3D de múltiples peces en peceras. (Tesis de licenciatura). Universidad de Murcia, Murcia.

NEPTUNO. (s.f.). NEPTUNO, ESCUELA NÁUTICA. Obtenido de NEPTUNO: <https://www.neptuno.es/que-es-un-sistema-ais/>

- OCEANA. (12 de mayo de 2016). OCEANA, Protegiendo los Océanos del Mundo. Recuperado el 14 de abril de 2020, de <https://peru.oceana.org/es/blog/5-evidencias-de-la-vulnerabilidad-de-la-anchoveta-despues-de-el-nino>
- OCEANA. (17 de agosto de 2016). OCEANA, Protegiendo los Océanos del Mundo. Obtenido de OCEANA: <https://peru.oceana.org/es/blog/claves-para-entender-el-manejo-de-la-pesqueria-de-anchoveta>
- OCEANA. (25 de enero de 2017). OCEANA, Protegiendo los Océanos del Mundo. Recuperado el 14 de abril de 2020, de <https://peru.oceana.org/es/la-anchoveta-y-el-nino>
- OCEANA. (14 de agosto de 2017). OCEANA, Protegiendo los Océanos del Mundo. Obtenido de OCEANA: <https://peru.oceana.org/es/blog/ais-y-gestion-pesquera-cuanto-hemos-avanzado>
- OCEANA. (13 de julio de 2017). OCEANA, Protegiendo los Océanos del Mundo. Obtenido de OCEANA: [https://peru.oceana.org/sites/default/files/relatoria\\_conversatorio\\_ais\\_julio\\_2017.pdf](https://peru.oceana.org/sites/default/files/relatoria_conversatorio_ais_julio_2017.pdf)
- Orellana, H. (2008). DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ALGORITMO QUE PERMITA ESTIMAR EL TAMAÑO DE PECES, APLICANDO VISIÓN POR COMPUTADORA, Y PROPUESTA PARA REALIZAR LA SELECCIÓN ADECUADA DE DICHS PECES. (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Pino, F. (s.f.). VIX. Obtenido de VIX: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/3921/cual-es-la-densidad-del-agua-de-mar>
- Rico-Díaz, A. J., Pallas, A., Rabuñal, J. R., & Puertas, J. (2017). Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. Recuperado el 30 de abril de 2020, de GEAMA: [http://geama.org/jia2017/wp-content/uploads/ponencias/tema\\_A/a13.pdf](http://geama.org/jia2017/wp-content/uploads/ponencias/tema_A/a13.pdf)
- Rosentiehl, A. R. (2017). Repositorio digital de la Universidad de Magdalena. Obtenido de REPOSITORIO DIGITAL UNIMAGDALENA: <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/bitstream/123456789/3415/1/IS-00161.pdf>
- RPP NOTICIAS. (23 de noviembre de 2016). RPP NOTICIAS. Recuperado el 15 de abril de 2020, de <https://rpp.pe/economia/economia/pesqueros-disminuyen-incidencia-de-pesca-de-anchovetas-juveniles-noticia-1011685?ref=rpp>
- Rud, G. (4 de noviembre de 2010). IDIS | investigaciones sobre el diseño de Imagen y Sonido. Obtenido de IDIS: <https://projectoidis.org/kinect/>

Sánchez , A., Escaño, J. M., & Castaño, F. (Agosto de 2011). Research Gate.  
Obtenido de Research Gate:

[https://www.researchgate.net/publication/236231649\\_Realidad\\_virtual\\_en\\_3d\\_para\\_automatizacion\\_y\\_control](https://www.researchgate.net/publication/236231649_Realidad_virtual_en_3d_para_automatizacion_y_control)

Sociedad Nacional de Pesquería. (s.f.). Sociedad Nacional de Pesquería, alimentamos al Perú y al mundo, cuidando el mar. Recuperado el 11 de abril de 2020, de <https://www.snp.org.pe/harina-de-pescado/>

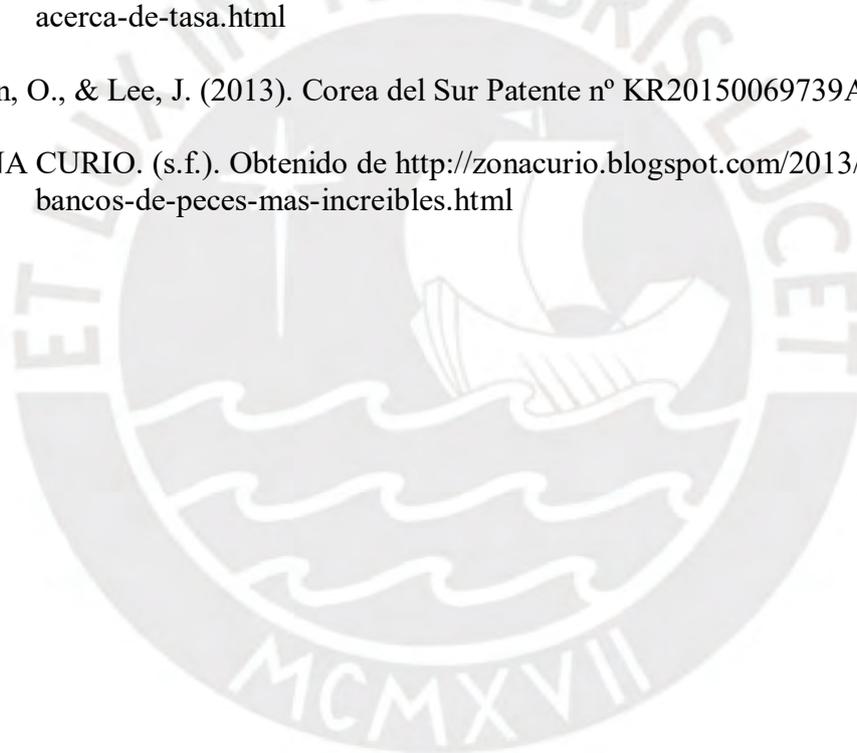
Sociedad Nacional de Pesquería. (s.f.). Sociedad Nacional de Pesquería, alimentamos al Perú y al mundo, cuidando el mar. Obtenido de <https://www.snp.org.pe/>

Sociedad Nacional de Pesquería. (s.f.). Sociedad Nacional de Pesquería, alimentamos al Perú y al mundo, cuidando el mar. Obtenido de <https://www.snp.org.pe/relevancia-economica/>

TASA. (s.f.). TASA. Obtenido de TASA: <https://www.tasa.com.pe/acerca-de-tasa-acerca-de-tasa.html>

Yoon, O., & Lee, J. (2013). Corea del Sur Patente nº KR20150069739A.

ZONA CURIO. (s.f.). Obtenido de <http://zonacurio.blogspot.com/2013/07/los-20-bancos-de-peces-mas-increibles.html>



## ANEXOS

### Anexo 1: Lista de exigencias

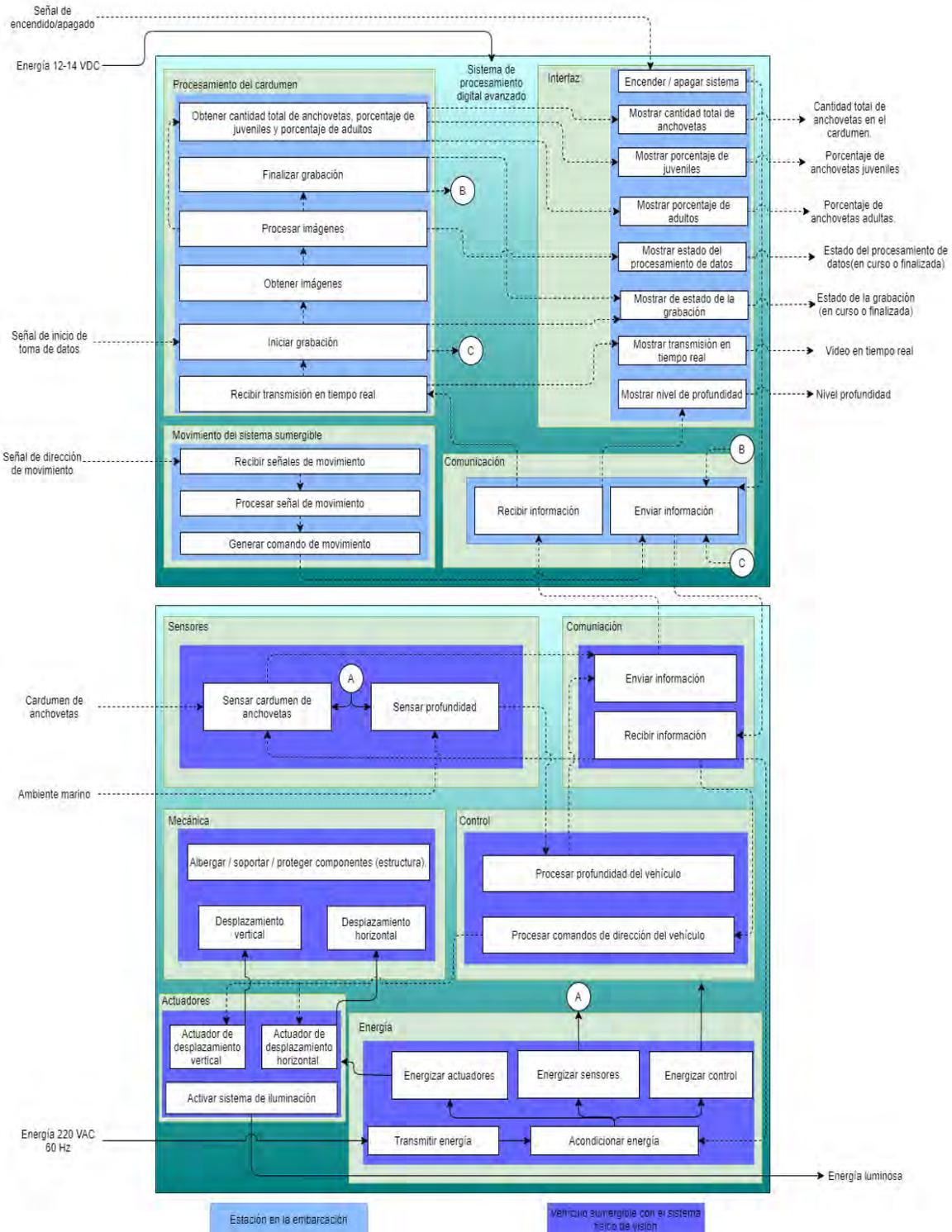
| LISTA DE EXIGENCIAS      |  | Pág. 1 de 3   |
|--------------------------|--|---|
|                          |  | Edición   |
|                          |  | Rev. 2.0  |
| PROYECTO                 | SISTEMA MECATRÓNICO PARA DETERMINAR AUTOMÁTICAMENTE LAS DIMENSIONES DE ANCHOVETAS USANDO VISIÓN ARTIFICIAL |   |
| Fecha                    | D/E  | Descripción   |
| <b>FUNCIÓN PRINCIPAL</b> |  |   |
| 03/05/2020               | E  | Realizar el conteo de juveniles y adultos en un cardumen de anchovetas.   |
| <b>GEOMETRÍA</b>         |  |   |
| 16/05/2020               | E  | El vehículo sumergible tendrá como medidas máximas 460x340x260 mm.  |
| 16/05/2020               | E  | El sistema físico de visión (conjunto de cámaras y estructura de soporte) tendrá como medidas máximas 460x340x200 mm.   |
| 09/05/2020               | E  | El sistema físico de visión (conjunto de cámaras más soporte) contará con espacio en cada encapsulado para colocar 2 bolsas de gel de sílice.   |
| <b>CINEMÁTICA</b>        |  |   |
| 03/05/2020               | E  | El ROV debe poder alcanzar una velocidad de 1.2 m/s.  |
| <b>FUERZA</b>            |  |   |
| 09/05/2020               | E  | El ROV debe tener una fuerza mínima de 71.9 N aproximadamente para poder desplazarse a 50 metros bajo el nivel del mar.   |
| <b>ENERGÍA</b>           |  |   |
| 16/05/2020               | E  | El ROV será energizado con 220 VAC desde la embarcación, mediante el uso de cables.   |
| 16/05/2020               | D  | El ROV contará con un sistema de baterías capaces de energizar el ROV por un tiempo no menor a 5 minutos que serán usadas solo en caso de emergencias para que este pueda salir a la superficie.          |
| <b>SOFTWARE</b>          |  |   |
| 05/05/2020               | D  | El sistema contará con una interfaz, en la cual se realizará el procesamiento de datos, en ella también se mostrarán las longitudes de los peces con un rango de error máximo de $\pm 2$ cm y la cantidad |

|                     |   |   |
|---------------------|---|---|
|                     |   | tanto de juveniles, como de adultos en el cardumen, con un margen de error máximo de 5%.  |
| 05/05/2020          | D | Procesamiento de los datos se realizará en un tiempo máximo de 5 minutos después de culminada la grabación.   |
| <b>SEÑALES</b>      |   |   |
| 09/05/2020          | E | <p style="text-align: center;"><u>Señales de entrada</u></p> <p>El sistema debe incluir señales entrada como una señal de encendido/apagado, señales para dirigir el ROV y la señal para iniciar la grabación.</p> <p style="text-align: center;"><u>Señales de salida</u></p> <p>El sistema debe incluir señales de salida como la de estado de la grabación (en curso o finalizada), estado del procesamiento de datos (en curso o finalizado) y de la profundidad a la que se encuentra.</p> |
| <b>ELECTRÓNICA</b>  |   |   |
| 05/05/2020          | E | Se debe contar con un mínimo de 2 cámaras estereoscópicas (es decir, un total de 4 lentes en total) para tener grabaciones de diferentes ángulos y obtener mayor cantidad de datos.   |
| 05/05/2020          | E | Las luminarias del sistema deben ser capaces de otorgar a la grabación al menos 1200 lúmenes.   |
| <b>COMUNICACIÓN</b> |   |   |
| 09/05/2020          | E | Transmisión del video en tiempo real mediante un cable de 150 metros hasta el barco.  |
| <b>TRANSPORTE</b>   |   |   |
| 05/05/2020          | E | El vehículo debe poder ser transportado por una sola persona, es decir, su masa no debe ser mayor a 20 Kg.  |
| <b>MONTAJE</b>      |   |   |
| 05/05/2020          | E | El sistema de visión estará unido al ROV mediante uniones atornilladas.   |
| <b>USO</b>          |   |   |
| 07/05/2020          | E | Para el uso del sistema se debe contar con una laptop en la cual realizar el procesamiento  |
| 05/05/2020          | E | El vehículo no debe operar a más de 50 metros de profundidad.   |
| 05/05/2020          | E | El ROV no debe ser usado a temperaturas menores de 12°C, ni mayores a 22°C.   |
| 05/05/2020          | E | En caso sistema sea ensamblado en lugares con climas húmedos, se debe colocar dentro del sistema bolsas de gel de sílice.   |

| MANTENIMIENTO |   |   |
|---------------|---|---|
| 05/05/2020    | E | Después de cada uso se debe limpiar el ROV, cables de conexión entre el mismo y la estación a tierra y comprobar que no hayan existido filtraciones, de ser así reemplazar las piezas involucradas. |
| COSTO         |   |   |
| 05/05/2020    | E | El costo del proyecto no excederá los 15000 dólares.  |
| PLAZO         |   |   |
| 03/05/2020    | E | El proyecto, con las simulaciones del algoritmo de visión deben en 2 semestres.   |



## Anexo 2: Diagrama de funciones



### Anexo 3: Matrices morfológicas sin documentar

#### Matriz morfológica del dominio de actuadores

| Función                   | Dominio de actuadores   |   |  |   |
|---------------------------|---|---|--|---|
|                           | Alternativas de solución  |   |  |   |
|                           | Alternativa I   | Alternativa II  | Alternativa III  | Alternativa IV  |
| Desplazamiento vertical   | BlueROV2  | Poseidon I  | Fathom One   | Gladius Mini  |
| Desplazamiento horizontal |  |  |  |  |
| Iluminación               | Luces de descarga de alta intensidad (HID)  | LED   |  |   |
|                           |  |  |  |   |

Concepto de solución I
Concepto de solución II
Concepto de solución III

#### Matriz morfológica del dominio de sensores

| Función  | Dominio de sensores   |   |                                 |                            |
|--|---|---|---------------------------------|----------------------------|
|  | Alternativas de solución  |   |                                 |                            |
|  | Alternativa I   | Alternativa II  | Alternativa III                 | Alternativa IV             |
| Sensado de datos del cardumen                      | Cámaras estereoscópicas   | Cámaras con tecnología ToF  | Cámaras y sensor de profundidad | Controladores de juegos 3D |
| Medir profundidad a la que se encuentra el sistema | Sensor de profundidad hermético   | Sensor de profundidad no hermético  |                                 |                            |
|  |  |  |                                 |                            |

Concepto de solución III
Concepto de solución I
Concepto de solución II

### Matriz morfológica del dominio de energía

| Función                | Dominio de energía  |   |  |
|------------------------|---|---|--|
|                        | Alternativas de solución  |   |  |
|                        | Alternativa I   | Alternativa II  | Alternativa III  |
| Fuente de alimentación | Generador eléctrico de la embarcación   | Baterías de la embarcación  |  |
| Acondicionar energía   | Transformadores   | Fuente Conmutada  | Fuente lineal  |
|                        |  |  |  |

Concepto de solución I
Concepto de solución II
Concepto de solución III

### Matriz morfológica del dominio de control

| Función                                   | Dominio de control - Hardware   |   |  |                |
|---|---|---|--|----------------|
|   | Alternativas de solución  |   |  |                |
|   | Alternativa I   | Alternativa II  | Alternativa III  | Alternativa IV |
| Sistema de procesamiento digital avanzado | Sistema embebido con pantalla LCD   | Laptop  | Controlador Lógico Programable (PLC) y Interfaz Humano Máquina (HMI)                 |                |
| Controlador del vehículo sumergible       | FPGA  | Microcontrolador  | Microprocesador  |                |
|   |  |  |  |                |

| Función   | Dominio de control - Software   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
|   | Alternativas de solución  |   |  |   |
|   | Alternativa I   | Alternativa II  | Alternativa III  | Alternativa IV  |
| Lenguaje y entorno empleado en el procesamiento de imágenes | Python en Raspbian  | Lenguaje de alto nivel en Matlab  | Python en IDLE   | Lenguaje de programación visual gráfico en LabVIEW                                    |
|   |  |  |  |  |

Concepto de solución I
Concepto de solución III
Concepto de solución II

### Matriz morfológica del dominio control - algoritmos

| Bloque                                    | Función                       | Dominio de control - Algoritmos  |                           |                           |
|---|-------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|
|   |                               | Alternativas de solución   |                           |                           |
|   |                               | Alternativa I  | Alternativa II            | Alternativa III           |
| Movimiento del vehículo sumergible        | Procesar señal de movimiento  | Sentencia IF<br>   | Sentencia Switch case<br> |                           |
|   | Generar comando de movimiento |  |                           |                           |
| Sistema de procesamiento digital avanzado | Procesar imágenes             | Transformada Watershed<br>   | Método de Otsu<br>        | Transformada de Hough<br> |
|   | Procesamiento de anchovetas   | Obtener cantidad total de anchovetas, porcentaje de juveniles y adultos<br>Conteo en bucle while<br> | Conteo en bucle for<br>   |                           |
| Vehículo sumergible                       | Control                       | Procesamiento de la dirección del vehículo sumergible<br>Control PID<br>                             | Control ON / OFF<br>      |                           |

Concepto de solución I

Concepto de solución II

Concepto de solución III



### Matriz morfológica del dominio estructural

| Función   | Dominio estructural   |  |   |
|---|---|--|---|
|   | Alternativas de solución  |  |   |
|   | Alternativa I   | Alternativa II   |   |
| Almacenamiento y protección del sistema de visión | Encapsulados de acrílico  | Módulos de plástico  |   |
|   |  |  |   |
| Control de flotabilidad                           | Superestructuras de tubos de plástico o de kevlar                                 | Espuma sintáctica o rígida de poliuretano  |   |
|   |  |  |   |
|   |  |   |  |
|   | Concepto de solución I  | Concepto de solución II  | Concepto de solución III  |

