

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PUCP**

**Diseño integral de clasificadora y contadora de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de 10 a 20 centímetros para la crianza de truchas en la Laguna de Pauracocha**

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

**AUTOR**

Pablo Remigio Díaz Vergara

**ASESOR**

Ing. Pedro Moises Crisóstomo Romero

Lima, setiembre, 2020

## **Resumen**

[BORRADOR] Escribir resumen aquí. Pellentesque venenatis, nibh id viverra elementum, ligula nulla scelerisque quam, vel vehicula nisl elit ut lorem. Nullam mattis nunc libero, ac ornare tortor consequat nec. Suspendisse eleifend nibh id lorem consequat ornare. Nunc condimentum turpis nibh, sed ultrices massa consequat nec. Ut id magna risus. Morbi id dapibus nunc. Sed quis auctor nulla. Curabitur velit metus, aliquam sit amet velit ut, tincidunt consequat magna. [/BORRADOR]

Considera los siguientes puntos:

1. Desarrolle un único párrafo (200 a 300 palabras)
2. Escriba en tiempo verbal presente
3. El resumen debe contener información sobre:
  - - La justificación de la investigación
  - - Los objetivos o hipótesis
  - - La teoría o supuestos teóricos o metodológicos en la que se sustenta
  - - El método o procedimiento realizado (de ser necesario)
  - - Los resultados (de ser necesario)
  - - La conclusión principal

## Introducción

[BORRADOR] Vulputate mi sit amet mauris commodo quis imperdiet. Dolor sit amet consectetur adipiscing. Viverra maecenas accumsan lacus vel facilisis volutpat est velit. Dictum fusce ut placerat orci nulla pellentesque dignissim. Habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada. Malesuada fames ac turpis egestas integer eget aliquet nibh. Lobortis feugiat vivamus at augue eget arcu. Vel quam elementum pulvinar etiam. Id diam vel quam elementum pulvinar. Malesuada fames ac turpis egestas. [/BORRADOR]

[BORRADOR] Sociis natoque penatibus et magnis. Ullamcorper eget nulla facilisi etiam dignissim diam quis enim lobortis. Pellentesque elit eget gravida cum sociis natoque penatibus. Tellus orci ac auctor augue mauris augue neque gravida. Hendrerit dolor magna eget est lorem ipsum dolor sit amet. Odio euismod lacinia at quis. Blandit cursus risus at ultrices. Varius morbi enim nunc faucibus a pellentesque sit. A cras semper auctor neque vitae. Ultrices sagittis orci a scelerisque purus semper eget. Habitant morbi tristique senectus et netus. Mauris pellentesque pulvinar pellentesque habitant. [/BORRADOR]

## **Agradecimientos**

[BORRADOR] Vulputate mi sit amet mauris commodo quis imperdiet. Dolor sit amet consectetur adipiscing. Viverra maecenas accumsan lacus vel facilisis volutpat est velit. Dictum fusce ut placerat orci nulla pellentesque dignissim. Habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada. Malesuada fames ac turpis egestas integer eget aliquet nibh. Lobortis feugiat vivamus at augue eget arcu. Vel quam elementum pulvinar etiam. Id diam vel quam elementum pulvinar. Malesuada fames ac turpis egestas. [/BORRADOR]

# Índice

<i>Resumen</i> . . . . .	i
<i>Introducción</i> . . . . .	ii
<i>Agradecimientos</i> . . . . .	iii
<i>Índice</i> . . . . .	iv
<i>Índice de figuras</i> . . . . .	vii
<i>Índice de tablas</i> . . . . .	ix
<i>I. — Antecedentes</i> . . . . .	1
1.1 Descripción del sistema conceptual . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	2
1.2.1 Objetivo general . . . . .	2
1.2.2 Objetivos específicos . . . . .	2
1.3 Alcance . . . . .	2
<i>II. — Diseño mecatrónico integral</i> . . . . .	3
2.1 Desarrollo de diseño mecatrónico integral . . . . .	3
2.1.1 Descripción del sistema integral . . . . .	4
2.1.1.1 Arquitectura de hardware . . . . .	5
2.1.1.2 Selección de materiales de fabricación . . . . .	6
2.1.2 Subsistema de recepción, distribución y traslado de truchas . . . . .	10
2.1.2.1 Diseño del subsistema de recepción de truchas . . . . .	10
2.1.2.2 Diseño de subsistema de distribución de truchas . . . . .	12
2.1.2.3 Diseño de subsistema de traslado de truchas . . . . .	19

2.1.3	Subsistema de procesamiento de imágenes . . . . .	23
2.1.3.1	Selección del sensor infrarrojo . . . . .	23
2.1.3.2	Selección de cámaras . . . . .	27
2.1.3.3	Selección de iluminación adecuada . . . . .	33
2.1.3.4	Selección de LED de alta potencia . . . . .	34
2.1.3.5	Selección de algoritmo de clasificación y conteo . . . . .	35
2.1.4	Subsistema de suministro de energía . . . . .	36
2.1.4.1	Selección de fuente de alimentación . . . . .	37
2.1.4.2	Selección de reguladores de voltaje de conmutación . . . . .	37
2.1.4.3	Diagrama esquemático . . . . .	39
2.1.5	Subsistema de control e interacción con el usuario . . . . .	41
2.1.5.1	Selección de microprocesador . . . . .	41
2.1.5.2	Selección de indicadores . . . . .	43
2.1.5.3	Selección de interruptor de seguridad de apagado de emergencia . . . . .	44
2.1.5.4	Selección de interruptor de interruptor tipo hongo . . . . .	45
2.1.5.5	Cálculo del consumo de energía del sistema . . . . .	46
2.1.5.6	Diagrama de flujo . . . . .	46
2.1.5.7	Diseño frontend de la aplicación móvil . . . . .	48
2.1.6	Subsistema de flotación . . . . .	49
2.1.6.1	Cálculo de fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema	49
2.1.6.2	Selección de flotadores . . . . .	50
2.1.6.3	Diseño de sistema de flotación . . . . .	51
2.1.7	Planos del sistema . . . . .	51
2.1.7.1	Lista de planos de ensamble . . . . .	51
2.1.7.2	Plano de despiece . . . . .	52
<i>III.</i> — Pruebas y resultados . . . . .		53
3.1	Algoritmos de conteo de truchas . . . . .	53
3.1.1	Criterios de evaluación . . . . .	53
3.1.2	Comparación . . . . .	54
3.1.3	Errores detectados en la simulación de conteo de truchas . . . . .	54
3.2	Simulación estructural . . . . .	55
3.3	Simulación dinámica del sistema . . . . .	55

<i>IV. — Estimación de costos</i>	56
4.1 Costos de diseño	56
4.2 Costos de manufactura	56
4.3 Costos de componentes	56
4.4 Costos de materiales	57
4.5 Costos total del sistema	57
<i>Conclusiones</i>	58
<i>Recomendaciones</i>	59
<i>Referencias</i>	61

## Índice de figuras

1.1	Dibujo del concepto óptimo . . . . .	1
2.1	Estado de diseño mecatrónico: sub-soluciones . . . . .	3
2.2	Fases de diseño según VDI 2221 . . . . .	4
2.3	Arquitectura de hardware del sistema . . . . .	6
2.4	Cálculo de dimensiones y ángulo de la tolva . . . . .	11
2.5	Ángulo de tolva vs aceleración en la trucha . . . . .	12
2.6	Mecanismo de distribución de truchas . . . . .	13
2.7	Conceptos de mecanismos de distribución de truchas . . . . .	14
2.8	Mecanismo leva-seguidor . . . . .	16
2.9	Engranajes del mecanismo de compuertas . . . . .	16
2.10	Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de la compuerta . . . . .	17
2.11	Diseño de tuberías para el concepto óptimo . . . . .	19
2.12	Filtro único . . . . .	20
2.13	Diagrama de control de electrovalvulas . . . . .	21
2.14	Control PID de una electrovalvula . . . . .	21
2.15	Posicionamiento del sensor infrarrojo . . . . .	24
2.16	Ánalisis de posición de luz infrarroja . . . . .	24
2.17	Cálculo de posición de luz infrarroja . . . . .	25
2.18	Cálculo de distancia máxima de desviación de haz de luz en condiciones ideales.	25
2.19	Distancia entre juego de espejos y cámara estéreo . . . . .	28
2.20	Cálculo de distancia apropiada para la cámara estéreo . . . . .	28
2.21	Aproximación lineal de la relación entre peso y la velocidad de nado de truchas arcoíris . . . . .	29
2.22	Diagrama esquemático y dependencia de la distancia del objeto seguido por una cámara estéreo. . . . .	30

2.23	Pruebas de medición con distintas distancias al objeto.	31
2.24	Opciones de posicionamiento de iluminación.	34
2.25	Diagrama esquemático del sistema	40
2.26	Diagrama de flujo principal	47
2.27	Aplicación móvil: inicio de sesión	49
2.28	Fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema	50
2.29	Fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema	51

## Índice de tablas

2.1	Tabla comparativa de propiedades entre <i>Aluminio vs Acero Inoxidable</i> . . . . .	7
2.2	Tabla comparativa de propiedades entre <i>PMMA, PVDF y PETG</i> . . . . .	8
2.3	Tabla comparativa de propiedades entre <i>HDPE vs PVC – U</i> . . . . .	9
2.4	Materiales de fabricación por subsistema . . . . .	10
2.5	Tabla comparativa de conceptos de mecanismos. . . . .	15
2.6	Tabla comparativa de motores a pasos. . . . .	18
2.7	Tabla comparativa de bombas de agua sumergibles. . . . .	22
2.8	Tabla comparativa de electroválvulas . . . . .	23
2.9	Tabla comparativa de sensores infrarrojos. . . . .	27
2.10	Tabla comparativa de cámaras estéreo. . . . .	32
2.11	Tabla comparativa de cámaras. . . . .	33
2.12	Tabla comparativa de leds de alta potencia. . . . .	35
2.13	Tabla comparativa de algoritmos. . . . .	36
2.14	Tabla comparativa de fuentes de alimentación. . . . .	37
2.15	Tabla comparativa de reguladores de voltaje de conmutación de X DC a Y DC.	38
2.16	Tabla comparativa de reguladores de voltaje de conmutación de X DC a Y DC.	38
2.17	Tabla comparativa de reguladores de voltaje de conmutación de X DC a Y DC.	39
2.18	Pines necesarios en el microprocesador. . . . .	41
2.19	Tabla comparativa de microprocesadores. . . . .	42
2.20	Tabla comparativa de indicadores visuales. . . . .	43
2.21	Tabla comparativa de bocinas . . . . .	44
2.22	Tabla comparativa de interruptor de seguridad de apagado de emergencia. . .	45
2.23	Tabla comparativa de interruptor de interruptor tipo hongo. . . . .	46
2.24	Tabla de consumo de energía del sistema por dispositivo. . . . .	46
2.25	Tabla comparativa de flotadores. . . . .	50

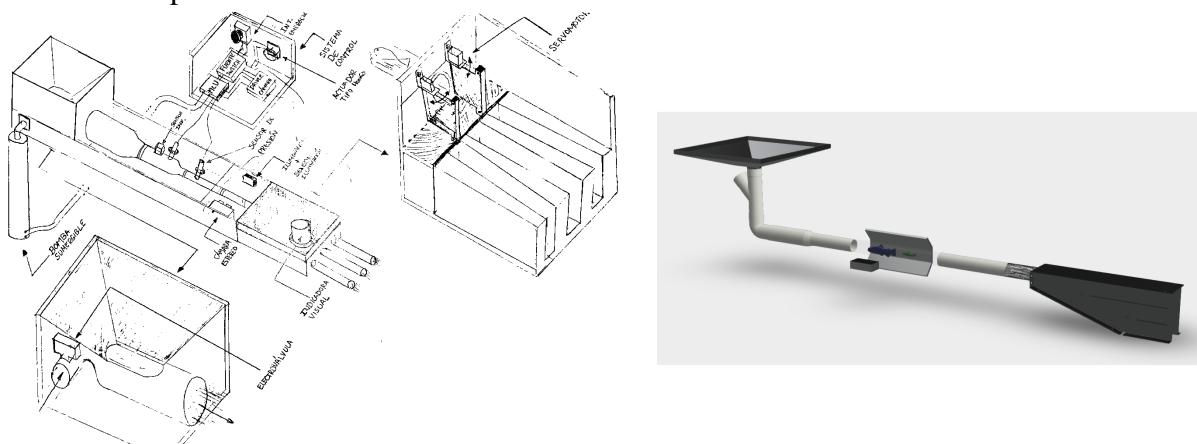
2.26	Lista de planos de ensamble. . . . .	52
2.27	Lista de planos de despiece . . . . .	52

---

# I Antecedentes

## 1.1 Descripción del sistema conceptual

El presente trabajo es la continuación del trabajo *Diseño conceptual de clasificadora y contadora de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de 10 a 20 centímetros para la crianza de truchas en la Laguna de Paucarcocha*<sup>1</sup>. En la Figura 1.1 se muestra el bosquejo del concepto de solución óptimo como su virtualización.



**Fig. 1.1 – Dibujo del concepto óptimo**

Fuente: Díaz Vergara (2020).

El desarrollo de ingeniería del concepto se realizó en el programa *Fusion 360*<sup>2</sup>. Tanto los diseños como renders<sup>3</sup> pueden ser visualizados online en la web. En la Sección 2.1 se explica a detalle el proceso de diseño y sus etapas.

- 
1. Díaz Vergara (2020)
  2. "Integrated CAD, CAM, CAE, and PCB software". Enlace
  3. Imágenes procesadas de un diseño para ser foto-realistas.

---

## **1.2 Objetivos**

Se presenta el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo.

### **1.2.1 Objetivo general**

Realizar el diseño integral (de ingeniería) de una máquina clasificadora y contadora de truchas arcoíris<sup>4</sup> de 15 a 20 centímetros a partir del diseño conceptual previo<sup>5</sup>.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Recolectar imágenes para formar una base de datos para el algoritmo de detección de truchas.
- Desarrollar el procesamiento de imágenes para la detección y conteo de truchas arcoíris.
- Realizar pruebas de los algoritmos, análisis de falla mecánica y presentar resultados de los algoritmos de detección, conteo y control del sistema.
- Presentar una estimación de costos y comparar dicho monto con el estado del arte<sup>6</sup>.

## **1.3 Alcance**

El presente estudio abarca el diseño integral de la CCT que resulta en una máquina de menor costo para disminuir la mortalidad en el proceso de clasificación y conteo de truchas en lagos o lagunas. Así mismo, unifica tecnologías de la última generación para automatizar el proceso mencionado. Además, pretende ser la base de un desarrollo mecatrónico en la industria truchicola, la cual tiene un potencial no explotado en el Perú.

---

4. CCT.

5. Díaz Vergara (2020)

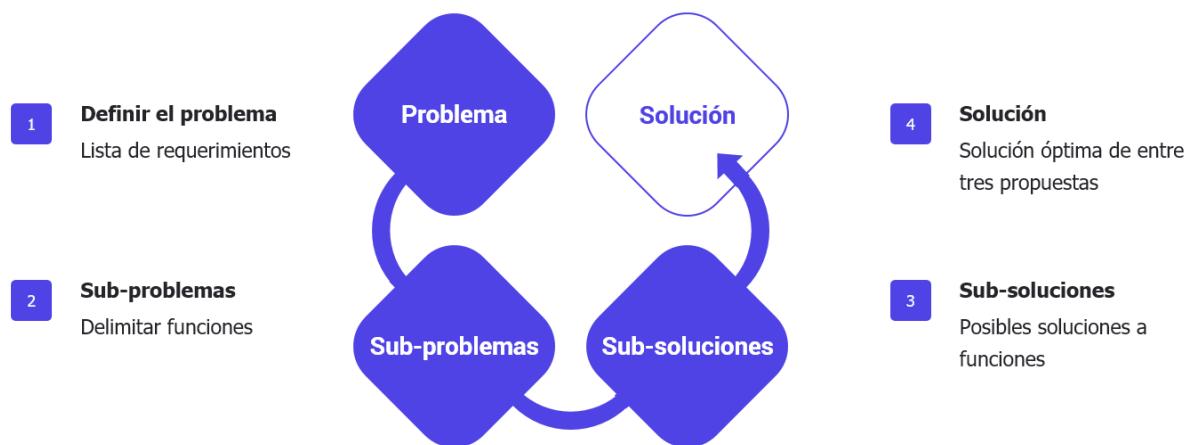
6. Díaz Vergara (2020)

---

## II Diseño mecatrónico integral

### 2.1 Desarrollo de diseño mecatrónico integral

En la sección llamada "*Desarrollo del diseño mecatrónico conceptual*"<sup>1</sup> se analizó el concepto de solución óptima. En la Figura 2.1 se muestra la etapa final de unir las sub-soluciones para desarrollar una forma viable de implementarlos de una forma integral.



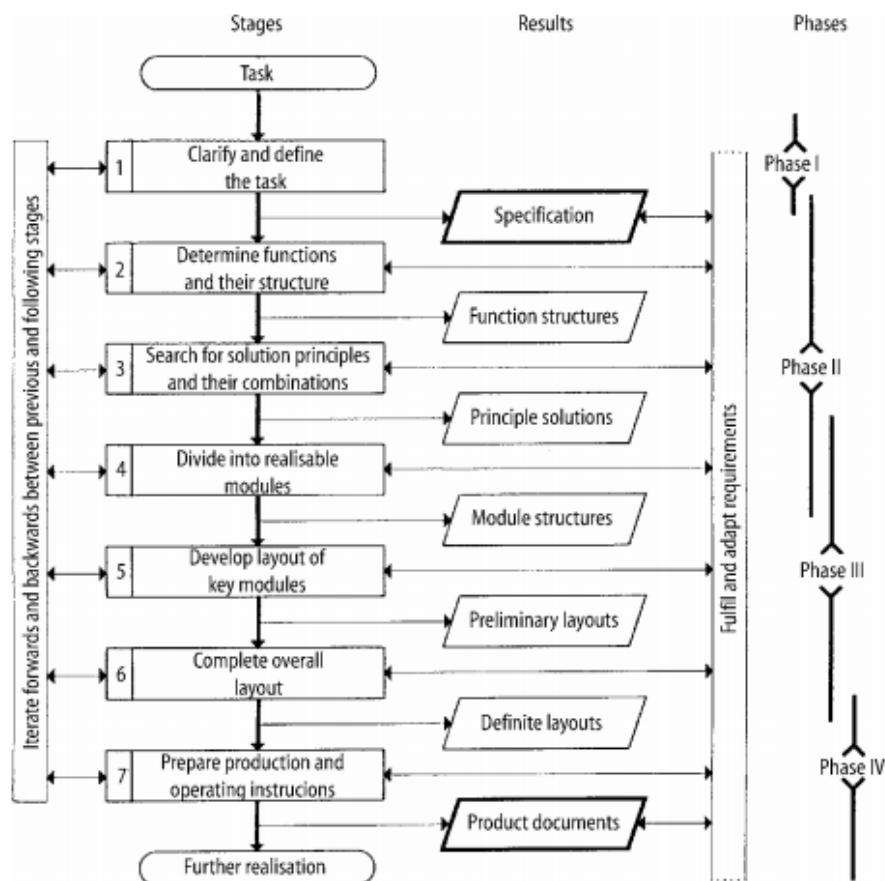
**Fig. 2.1** – Estado de diseño mecatrónico: sub-soluciones

Fuente: Elaboración propia

Según el proceso de diseño indicado en la norma VDI 2221 que se muestra en la Figura 2.2 se parte del diseño conceptual propuesto (5) y se presenta el diseño integral (6)<sup>2</sup>, también llamado diseño de ingeniería, que abarca diferentes puntos: dimensionamiento del sistema; cálculos; selección técnica de materiales entorno a su aplicación; selección técnica de sensores; actuadores y dispositivos de control; lógica del control del sistema y su estrategia;

- 
1. Díaz Vergara (2020)
  2. Pahl et al. (2007)

planos mecánicos: ensamble y despiece; planos eléctricos y/o electrónicos; simulaciones de la máquina y una estimación de costos.



**Fig. 2.2 – Fases de diseño según VDI 2221**

Fuente: Pahl et al. (2007)

### 2.1.1 Descripción del sistema integral

Respecto al diseño conceptual, existen algunas modificaciones en los tipos de dispositivos por características técnicas detectadas en el desarrollo de ingeniería del sistema: el cambio del servomotor por un mecanismo de motor a pasos con leva-seguidor que disminuye el desgaste por el sentido de giro; la batería ya no es parte del sistema, el operario debe suministrar la energía necesaria; el adicional de una cámara para el seguimiento de la trayectoria de truchas en el mecanismo de distribución; la variación de el uso de un microcontrolador a microprocesador debido a la potencia computacional requerida; el cambio de bombas sumergibles a bombas de

---

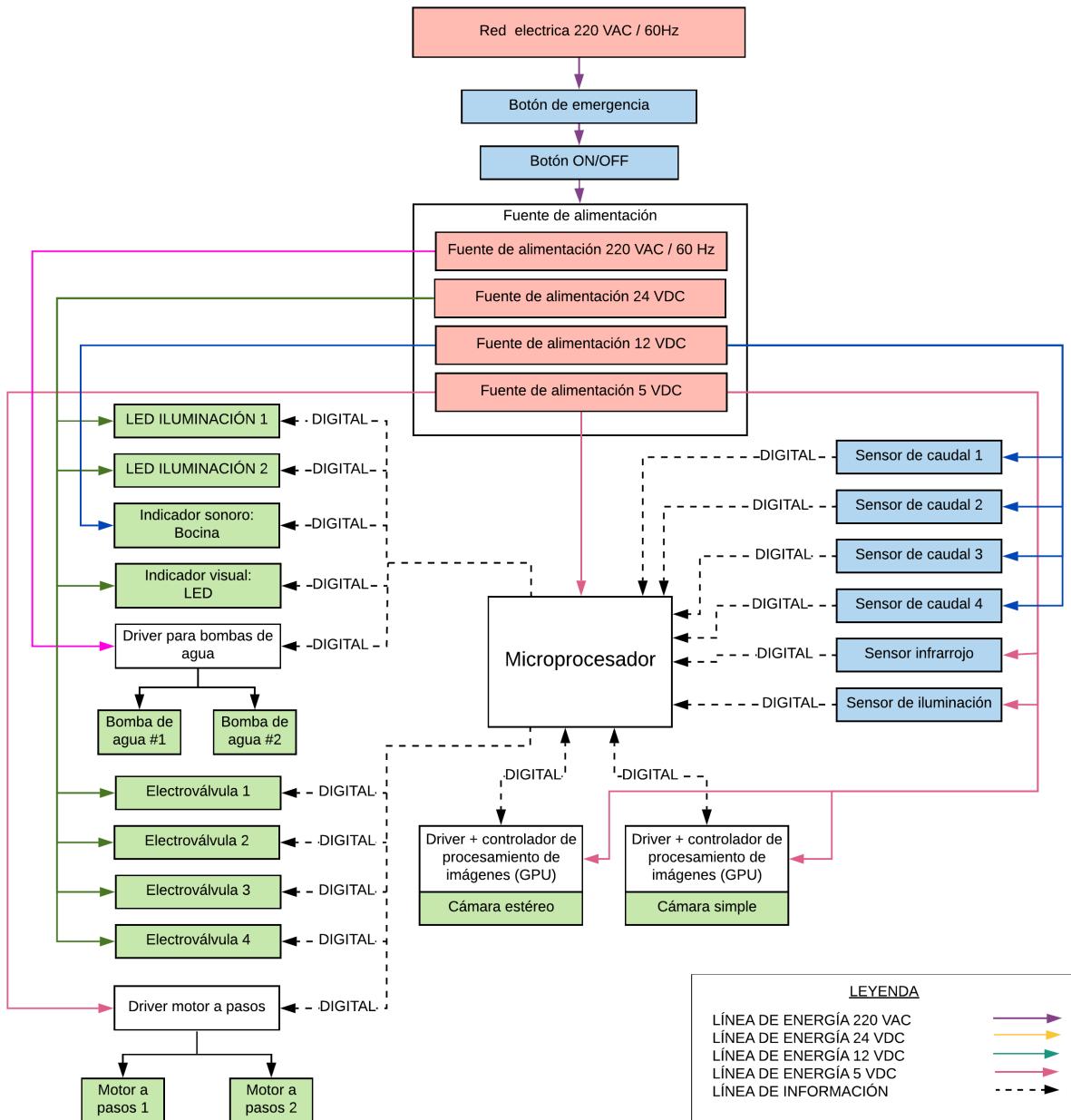
agua por la eficiencia y potencia necesaria en el proyecto<sup>3</sup>; remoción de la reja al inicio accionada por un motor debido al coste de implementación y reemplazo con un tapón de plástico.

La máquina clasificadora y contadora de truchas<sup>4</sup>, y su sistema respectivo tienen como función principal receptionar truchas mediante una tolva, procesar la clasificación, conteo y distribución hacia tres jaulas flotantes en medio de la Laguna de Paucarcocha.<sup>5</sup> La máquina se sitúa sobre el agua y es empleada por un operario, que se encarga de extraer truchas con una sacadera telescopica<sup>6</sup>. En las siguientes páginas se analizan dos puntos generales concernientes al sistema: arquitectura de hardware y la selección de materiales de fabricación por subsistema.

#### **2.1.1.1 Arquitectura de hardware**

En la Figura 2.3 se muestra la propuesta de arquitectura de hardware. Esta arquitectura muestra las entradas de energía del sistema, su redistribución a cada componente, el control asociado a cada pieza mediante el subsistema de control y los protocolos o energía asociado a cada par de bloques. Además, el tipo de conexión se detalla en la leyenda.

- 
3. El precio de las bombas sumergibles sube considerablemente correspondiente a la potencia requerida.
  4. CCT
  5. Díaz Vergara (2020)
  6. También llamada cal-cal.



**Fig. 2.3 – Arquitectura de hardware del sistema**

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.1.2 Selección de materiales de fabricación

Cada subsistema posee mecanismos que se rigen por un material en general, esto incluye a las partes principales del subsistema. Sin embargo, no considera el material de tornillos, ajustes o dispositivos similares. Existen así mismos requisitos que se pueden generalizar para

---

todos los subsistemas por el entorno de trabajo a la que estará sometida la máquina detallados en la "*Lista de requerimientos*"<sup>7</sup>. Basado en dichas demandas, cada subsistema es analizado y presentado con dos alternativas posibles de materiales. Consecuentemente, se elige un material decisivo para ser empleado bajo el sustento técnico que se explicará en los siguientes párrafos.

- **Subsistema de recepción y traslado de truchas:** Cuenta con dos mecanismos; recepción de truchas y tuberías de traslado. El primero debe receptionar a las truchas y dirigirlas al mecanismo de tuberías. El segundo debe trasladar a las truchas de un punto a otro de la máquina mediante las tuberías. En la Tabla 2.1 se comparan técnicamente las propiedades mecánicas, térmicas y ópticas de dos materiales.

**Tab. 2.1** – Tabla comparativa de propiedades entre *Aluminio* vs *Acero Inoxidable*

Propiedad	Aluminio	Acero Inoxidable
Módulo de Young (GPa)	69	200
Esfuerzo de fatiga Y (MPa)	58-110	210-440
Resistencia a la tracción (MPa)	130-410	580-1180
Temperatura máxima mecánica (°C)	650	1450
Conductividad térmica (W/m – K)	170	16
Expansión térmica ( $\mu\text{m}/\text{m} - \text{K}$ )	24	17
Conductividad eléctrica (%)	43	2.4
Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.7	7.8

\*Terminología técnica de los materiales: Aluminio 6061, Acero Inoxidable ANSI 304. Fuente: MakeItFrom (2020).

El material escogido es Aluminio 6061 por tener una densidad menor, facilidad de realizar juntas de soldadura, y aunque tenga menor resistencia mecánica cumple con los requerimientos mínimos asociados al subsistema mencionado.

- **Subsistema de procesamiento de imágenes:** Cuenta con los mecanismos de tuberías y juego de espejos. El primero debe brindar a la cámara suficiente transparencia para obtener una fotografía adecuada. El segundo debe brindar a la cámara más perfiles del

---

7. Díaz Vergara (2020).

---

cuerpo que es trasladado por la tubería. En la Tabla 2.2 se compara técnicamente las propiedades mecánicas, térmicas y ópticas de tres materiales.

**Tab. 2.2 – Tabla comparativa de propiedades entre PMMA, PVDF y PETG**

Propiedad	PMMA	PVDF	PETG
Resistencia al impacto: con muescas ( $J/m$ )	74	180	77
Expansión térmica ( $\mu m/m - K$ )	76	120	68
Densidad ( $g/cm^3$ )	1.2	1.8	1.3
Resistencia al peso	32	20	25
Alargamiento a la rotura (%)	4	49	53
Incidencia de luz trasmisida (%)	92	-	-
Índice de refracción	1.5	1.4	1.6

\*Terminología técnica de los materiales: Polimetilmetacrilato (Acrílico)(PMMA), Fluoruro de polivinilideno (PVDF), Tereftalato de polietileno modificado con glicol (PETG).  
Fuente: Brydson (1999); Berins (1991); Harper (2000); MakeItFrom (2020).

Tanto el PMMA como el PETG tienen menores propiedades mecánicas que PVDF, pero en cuanto a densidad los materiales mencionados son más livianos comparados con el PVDF. En cuanto a las propiedades ópticas, el PMMA tiene un índice de refracción mayor que el PVDF pero menor que el PETG. Sin embargo, la el PMMA es el material más usado en propósitos ópticos comparado con los otros materiales mencionados. El PMMA transparente se puede encontrar en el mercado nacional e internacional por lo que se opta por este material para el subsistema mencionado. En el caso del juego de espejos, las propiedades ópticas son primordiales, por lo que se escoge PMMA.

- **Subsistema de procesamiento de suministro de energía y subsistema de control e interacción con el usuario:** Los materiales son propios de los dispositivos electrónicos comerciales dependientes de la tecnología que se selecciona, por lo que se omite una clasificación de materiales en estos subsistemas.
- **Subsistema de flotación:** Cuenta con dos mecanismos; armadura y flotadores. El primero debe funcionar como esqueleto para los otros subsistemas y del mismo. El segundo debe mantener el sistema a flote. En la Tabla 2.3 se compara técnicamente las propiedades

---

mecánicas, térmicas y ópticas de dos materiales.

**Tab. 2.3** – Tabla comparativa de propiedades entre *HDPE* vs *PVC-U*

Propiedad	HDPE	PVC-U
Densidad ( $g/cm^3$ )	1.0-1.3	1.4
Elongación a rotura (%)	2.5-100	58
Resistencia al impacto ( $J/m$ )	50-260	360
Resistencia al peso: Flexión	19-32	20
Resistencia a la tracción ( $MPa$ )	24-80	47

\*Terminología técnica de los materiales: Polietileno de alta densidad (HDPE), Cloruro de polivinilo no plastificado (Rígido) (uPVC, PVC-U)

Fuente: Brydson (1999); Berins (1991); Harper (2000); MakeItFrom (2020).

En los flotadores es crucial las propiedades mecánicas, ya que en caso de falla puede hundir todo el sistema. La búsqueda de un material con baja densidad, alta resistencia a la tracción, impacto y al peso determinan el material escogido como HDPE. Además dicho material es comercializado nacionalmente e internacionalmente. De forma similar, la armadura debe poseer buenas propiedades mecánicas y por eso se selecciona Acero Inoxidable.

Finalmente, en las Tablas 2.1, 2.2 y 2.3 se comparan diversos materiales para el correspondiente subsistema. Los materiales de fabricación finales para cada subsistema se muestran en la Tabla 2.4, fueron seleccionados por su superioridad en las propiedades técnicas que son valoradas en este proyecto.

---

**Tab. 2.4 – Materiales de fabricación por subsistema**

<b>Subsistema</b>	<b>Mecanismo</b>	<b>Material</b>
Recepción y traslado de truchas	Recepción de truchas	Aluminio
Recepción y traslado de truchas	Tuberías de traslado	PVC-U
Procesamiento de imágenes	Tubería	PMMA
Procesamiento de imágenes	Juego de espejos	PMMA
Suministro de energía	-	-
Control e interacción con el usuario	-	-
Flotación	Armadura	Acero Inoxidable
Flotación	Flotadores	HDPE

\*Terminología técnica de los materiales: Cloruro de polivinilo no plastificado (Rígido) (uPVC, PVC-U), Polimetilmetacrilato ISO 24026-1:2020<sup>8</sup> (Acrílico) (PMMA), Polietileno de alta densidad (HDPE), Acero Inoxidable 304, Aluminio 6061 (AL), Fluoruro de polivinilideno (PVDF).

Fuente: Elaboración propia.

## **2.1.2 Subsistema de recepción, distribución y traslado de truchas**

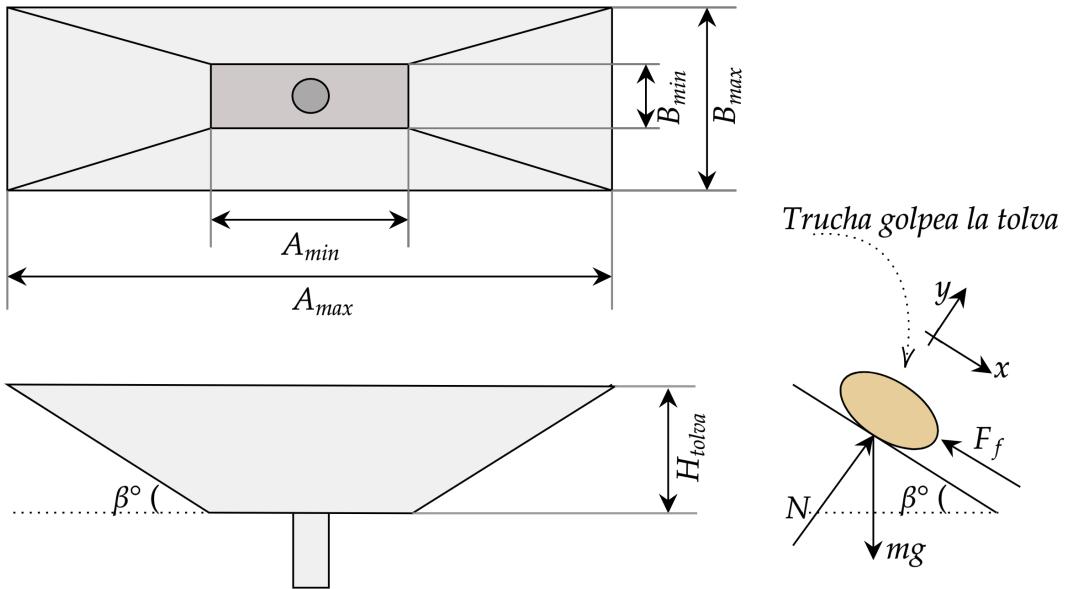
Este subsistema consiste en encapsular los mecanismos físicos que están en el ciclo que sigue una trucha dentro de la máquina: tolva, tuberías, bomba de agua, distribución física por mecanismos, caudales apropiados y el control respectivo. Los puntos mencionados se detallan en las siguientes páginas.

### **2.1.2.1 Diseño del subsistema de recepción de truchas**

El diseño implica un análisis sobre las situaciones que suceden cuando se realiza el proceso de depositar las truchas. En la Figura 2.4 se analiza dicha situación con la finalidad de escoger un ángulo de elevación de la tolva ( $\beta$ ) adecuado. Respecto a la tolva, se designan los siguientes valores iniciales:  $A_{min}, B_{min} = 200mm.; \beta \in [0;45]^\circ; tolva = 150mm..$  Además, debe cumplirse que  $A_{max} > B_{max}$  orientado hacia el operario que depositará la trucha.

---

8. Estándar ISO detallado. Antecesor: 8257-1:1998. Estándar ASTM: D788-96



**Fig. 2.4** – Cálculo de dimensiones y ángulo de la tolva

Fuente: Elaboración propia.

Parte de la Figura 2.4 muestra el diagrama de cuerpo libre del cual se extrae la fuerza de fricción ( $F_f$ ) y la fuerza normal ( $N$ ) que se muestran en la Ecuación 2.2. Las leyes de Newton se muestran en la Ecuación 2.1.

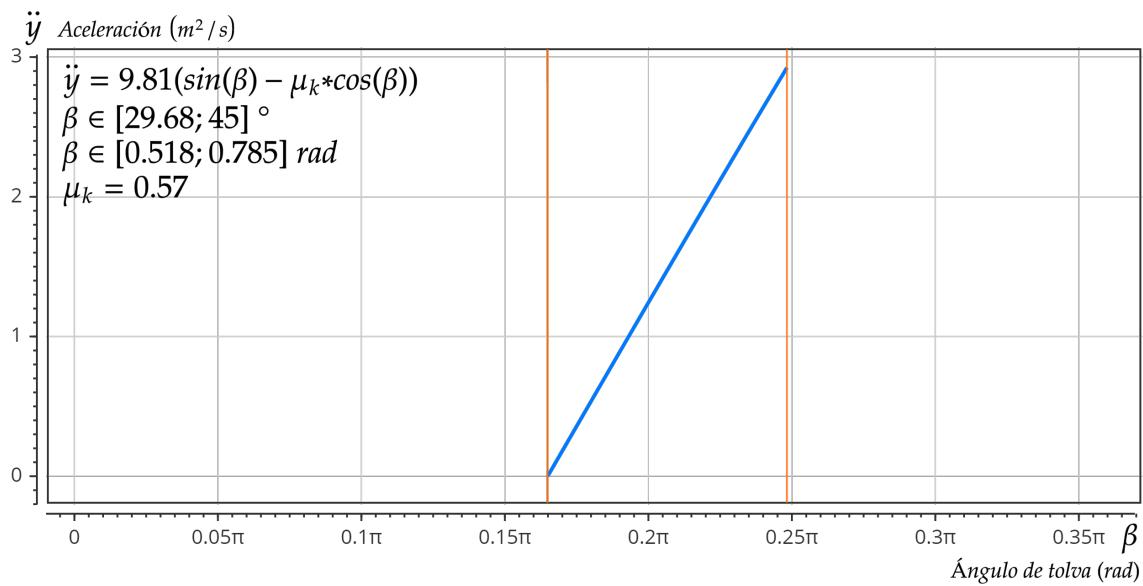
$$\begin{aligned} F_R &= m * a \\ \sum_0^n F_{x,y,z} &= 0 \end{aligned} \tag{2.1}$$

$$\begin{aligned} F_f &= \mu * N \\ \sum F_y &= N - mg * \cos(\beta) = 0 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Luego, se reemplazan la Ecuación 2.2 en la Ecuación 2.1 y se obtiene la Ecuación 2.3. La variable a despejar es la aceleración en el eje x ( $\ddot{x}$ ).

$$\begin{aligned} mg * \sin(\beta) - F_f &= m * \ddot{x} \\ mg * \sin(\beta) - \mu_k * mg * \cos(\beta) &= m * \ddot{x} \\ g * \sin(\beta) - g * \mu_k * \cos(\beta) &= \ddot{x} \end{aligned} \tag{2.3}$$

Para disminuir el impacto de la trucha sobre la tolva o sobre las tuberías interiores se debe disminuir la aceleración de la trucha al ser depositada en la tolva. La Figura 2.5 muestra la ecuación que relaciona la aceleración con el ángulo de elevación de la pared de la tolva. Consecuentemente, se escoge un ángulo ( $\beta = 30^\circ$ ) para tener una aceleración aproximadamente nula ( $\ddot{x} \approx 0$ ). Se considera  $\mu_k = 0.57$  para el material escogido en la sección 2.1.1.2. Consecuentemente, se calculan los valores de  $A_{max} \approx 900mm.$  y  $B_{max} \approx 700mm.$ , respectivamente.

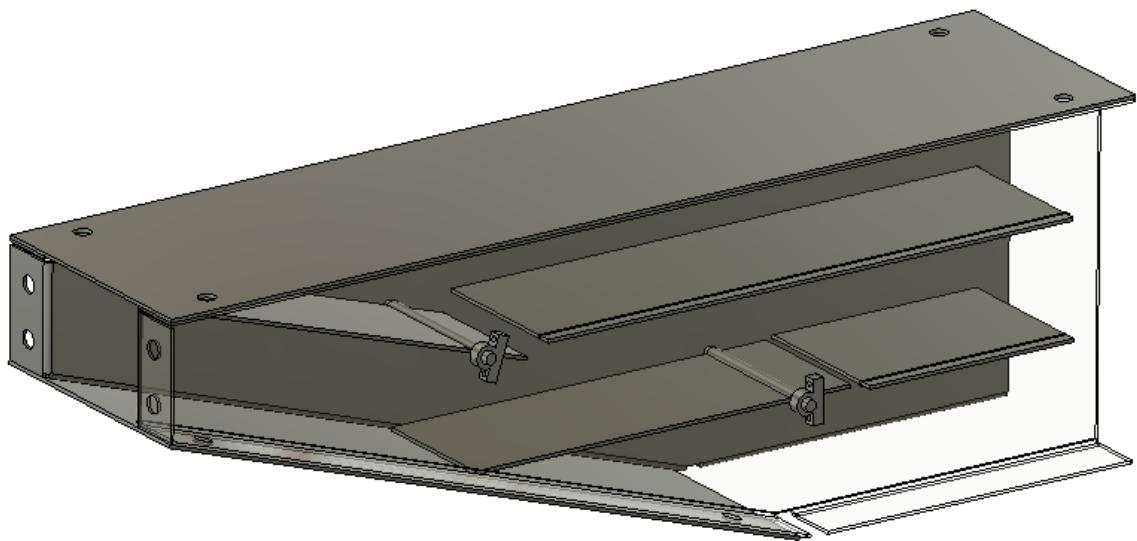


**Fig. 2.5 – Ángulo de tolva vs aceleración en la trucha**

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.2.2 Diseño de subsistema de distribución de truchas

Luego del proceso de procesamiento de imágenes el sistema mediante el algoritmo de clasificación indica al sistema la trayectoria que debe seguir la trucha en tránsito y es accionado por el mecanismo de distribución, mostrado en la Figura 2.6. Dicho mecanismo recibe a la trucha por una única entrada y redirige mediante un juego de compuertas a tres salidas. Finalmente, las truchas son impulsadas al ingresar a tuberías con caudal de agua constante que las transporta hasta las jaulas flotantes correspondientes.

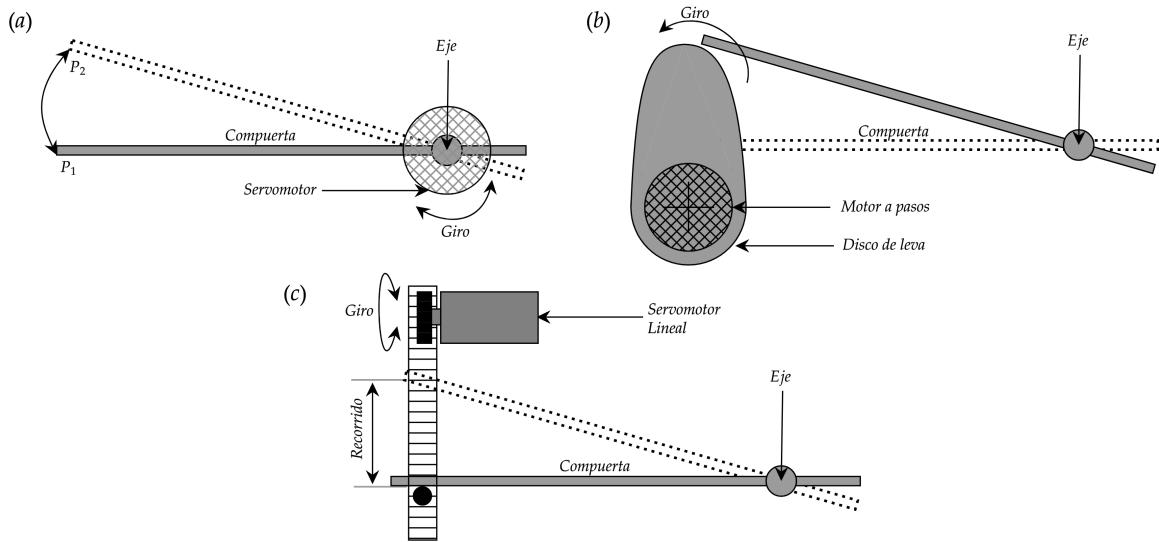


**Fig. 2.6 – Mecanismo de distribución de truchas**

Fuente: Elaboración propia.

- **Selección de mecanismo que acciona la compuerta**

La selección del mecanismo que activa la compuerta tiene requisitos técnicos que son muy importantes, de no funcionar puede parar completamente el proceso general, por lo que se realiza una comparación de los posibles mecanismos a utilizar para hacer girar la compuerta de manera cíclica ordenado por el subsistema de control. La comparación conceptual se muestra en la Tabla 2.5 y los conceptos de mecanismos analizados se muestran en la Figura 2.7.



**Fig. 2.7 –** (a) Mecanismo de eje servomotor. (b) Mecanismo de tolva y seguidor. (c) Mecanismo de servomotor lineal.

Fuente: Elaboración propia.

El mecanismo inicialmente propuesto (Figura 2.7-a) corresponde a un servomotor conectado al eje de la compuerta del sistema de distribución, los apoyos no son representados en las figuras. El sistema, al efectuar cierta cantidad de giros en un periodo largo<sup>9</sup> presenta un deterioro considerable en el eje del servomotor, por lo que se analiza un mecanismo de leva-seguidor (Figura 2.7-b) que traslada el giro fuera del eje, en un solo sentido y se aplica el giro sobre un extremo de la compuerta, el disco de leva está posicionado para brindar un movimiento armónico al extremo de la compuerta. Así también, se considera un mecanismo de servomotor lineal que mediante una traba en la cremallera desplaza la compuerta hasta la posición requerida mediante giros en los dos sentidos.

9. Una jornada diaria de clasificación puede someter al mecanismo a abrir/cerrar la compuerta en  $t_{compuerta} \approx 1\text{s}$ . durante  $t_{jornadaxdia} = 6\text{h}$ .

**Tab. 2.5** – Tabla comparativa de conceptos de mecanismos.

	<b>Requisitos mínimos</b>	<b>Servomotor de rotación posicional</b>	<b>Leva y seguidor</b>	<b>Servomotor lineal</b>
<b>Figura</b>	-	Figura 2.7-a	Figura 2.7-b	Figura 2.7-c
<b>Cantidad de sentidos de giro</b>	-	2	1	2
<b>Complejidad mecánica<sup>10</sup></b>	-	Baja	Alta	Media
<b>Disponibilidad en el mercado<sup>11</sup></b>	-	Nacional	Internacional	Nacional
<b>Torque máximo<sup>12</sup> (<math>\tau_{max}</math>)</b>	-	$\approx m * g * d_{eje}$	$\approx m * g * d_{leva}/2$	$\approx m * g * d_{ser}/4$
<b>Desgaste<sup>13</sup></b>	-	Alto	Bajo	Medio
<b>Acoplamiento al sistema<sup>14</sup></b>	-	Bajo	Medio	Medio
<b>Ruido generado<sup>15</sup></b>	-	Medio	Bajo	Medio

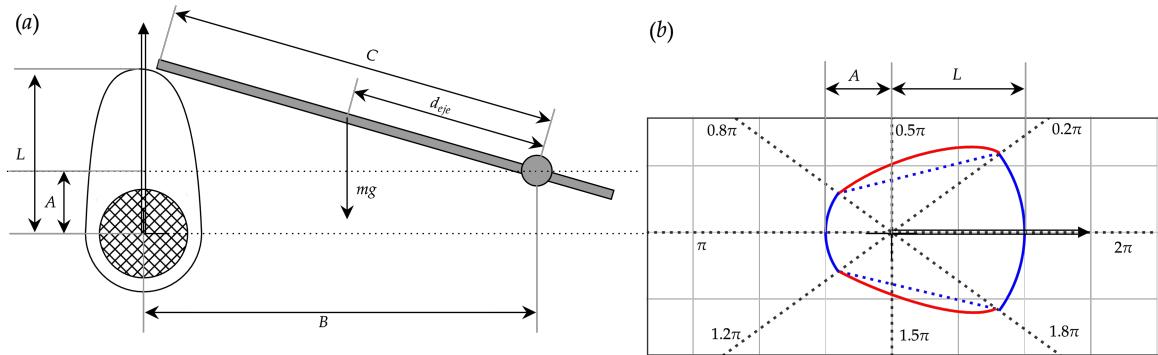
Fuente: Elaboración propia.

El mecanismo escogido es el leva y seguidor ya que solo es necesario su giro en un sentido, lo cual disminuye el desgaste, se acopla al sistema sin implementar más soportes que los otros mecanismos, no genera ruido y su fabricación, en caso no se encuentre en el mercado peruano, se puede realizar en un taller nacional.

#### • Diseño de mecanismo que acciona la compuerta

En cuanto al mecanismo determinado, se realiza una análisis simple para determinar la forma que tendrá el disco de leva (2.8-b) y con ese fin se realiza un diagrama de cuerpo libre (2.8-a) que permite analizar las fuerzas sobre los cuerpos.

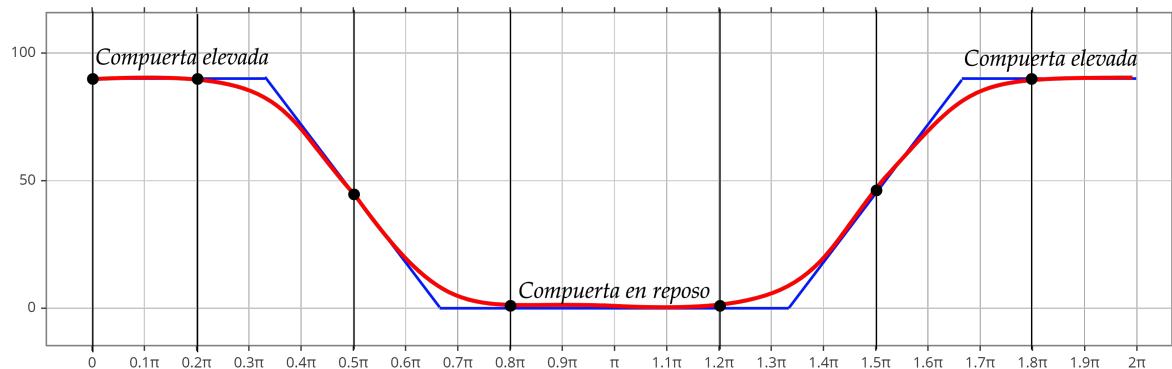
10. Basado en análisis de falla. Calificación cualitativa: baja, media o alta.
11. Basado en el componente más "difícil" de conseguir. Calificación cualitativa: nacional o internacional
12. Basado en situación crítica encontrada derivando la ecuación de torque respectivo. Dónde:  $d_{eje}$  es la distancia del centro de gravedad de la compuerta al eje,  $d_{leva}$  es la distancia del centro del disco de leva hasta la parte más alejada de este y  $d_{ser}$  es diámetro del engranaje en el mecanismo piñón-cremallera del servomotor lineal. ( $d_{ser} < d_{leva} < d_{eje}$ )
13. Calificación cualitativa: bajo, medio o alto.
14. Basado en cantidad de componentes adicionales necesarios para implementar. Calificación cualitativa: bajo, medio o alto.
15. Basado en mecanismo mecánico empleado. Calificación cualitativa: bajo, medio, alto.



**Fig. 2.8 – (a)** Diagrama de cuerpo libre de mecanismo leva-seguidor. **(b)** Dimensiones del disco de leva.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño del disco de leva que se muestra en la Figura 2.8-b corresponde al posicionamiento requerido (línea azul) y a un posicionamiento óptimo (línea roja). Dicho posicionamiento versus el ángulo de giro se muestra en la Figura 2.9.

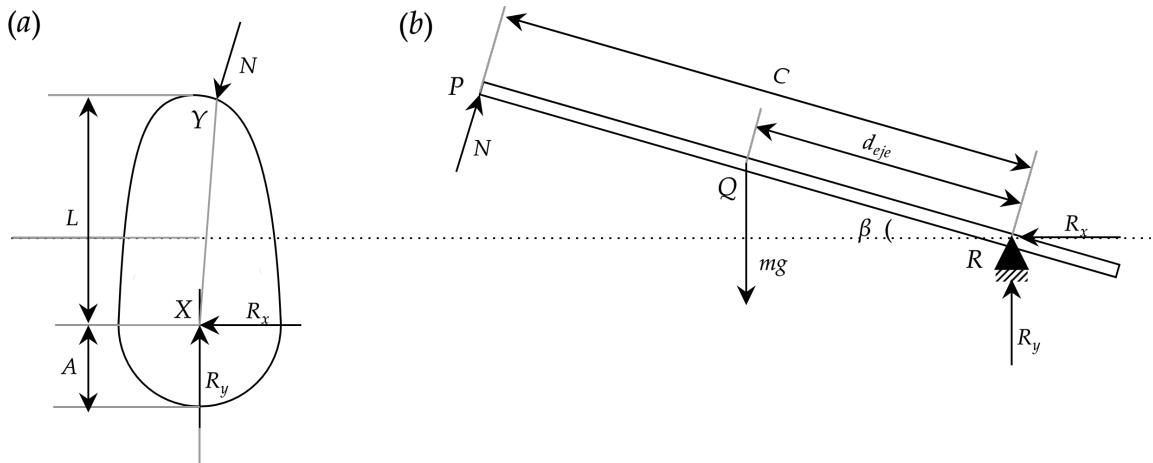


**Fig. 2.9 – Engranajes del mecanismo de compuertas**

Fuente: Elaboración propia.

#### • Cálculo de torque sobre la compuerta

El torque necesario para abrir y cerrar la compuerta se aplica sobre el eje de la misma. La parte más alejada del disco de leva es la que levanta la compuerta. En la Figura 2.10, la fuerza  $N$  representa la normal que se aplica debido al peso de la compuerta cuando se abre en giro horario. Además, donde:  $[R_x, R_y]$  son reacciones en un determinado punto, en este caso sobre el eje del disco de leva y de la compuerta, respectivamente;  $[C, d_{eje}, L$  y  $A]$  son distancias; y  $[mg$  y  $N]$  son fuerzas a la que están sometidas las cuerpos.



**Fig. 2.10 – (a) DLC del disco de leva. (b) DLC de la compuerta.**

Fuente: Elaboración propia.

Para hallar el valor de la fuerza  $N$ , en el DLC de la compuerta (Figura 2.10-b) se suma los momentos en el punto  $R$  como se expone en la Ecuación 2.4.

$$\sum M_R = m_{compuerta} * g * \cos(\beta) * d_{eje} - 2 * N * d_{eje} = 0 \quad (2.4)$$

$$N = \frac{m * g * \cos(\beta)}{2}$$

Luego, se reemplaza el valor de  $N$  en la sumatoria de fuerzas en el punto  $X$ , del DLC del disco de leva, y se obtiene el torque máximo ( $\vec{\tau}_{max}$ ) como se muestra en la Ecuación 2.5.

$$\begin{aligned} \vec{\tau}_X &= N * \sin(\beta) * L \\ \vec{\tau}_X &= \frac{m * g * \cos(\beta)}{2} * \sin(\beta) * L \\ \vec{\tau}_X &= m * g * L * \frac{\sin(2\beta)}{2} \\ \vec{\tau}_{X_{max}} &= \frac{m * g * L}{2} \quad (\beta = 45^\circ) \end{aligned} \quad (2.5)$$

#### • Cálculo de velocidad de giro de la compuerta

[BORRADOR] Falta pasar a limpio los cálculos [/BORRADOR]

[BORRADOR] La velocidad de compuertas debe ir acorde a la distancia entre una trucha

y la siguiente a esta. Explicar velocidad RPM necesarias y explicar las ecuaciones siguientes [Borrador]

$$RPM_{necesarias} = 1 \quad (2.6)$$

- **Selección de motores a paso**

En la Tabla 2.6 se muestra una comparación técnica entre tres motores a pasos que cumplen los requisitos mínimos.

**Tab. 2.6 – Tabla comparativa de motores a pasos.**

	Requisitos mínimos	SL42STH48-1684A	AAAAAA	BBBBBB
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	Changzhou Songyang M. & E.	SDFFDS	SAF
<b>Peso (kg)</b>	-	0.36	26	27
<b>Carga axial máxima en el eje (N)</b>	-	10	-	-
<b>Temperatura operativa (°C)</b>	-	[-20;50]	[P;Q]	[R;S]
<b>Corriente de fase (A)</b>	-	1.68	0.M	0.N
<b>Inductancia de fase (mH)</b>	-	2.8	0.M	0.N
<b>Dimensiones (mm)</b>	-	42x42x72	axbxc	axbxc
<b>Torque máximo (Nm)</b>	-	0.49	0.M	0.N
<b>Precio (S/)</b>	-	70.00	[P;Q]	[R;S]

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[Borrador] Referencia de imágenes, indicar tasa de cambio si es necesario. Seleccionar uno y explicar la selección [Borrador]

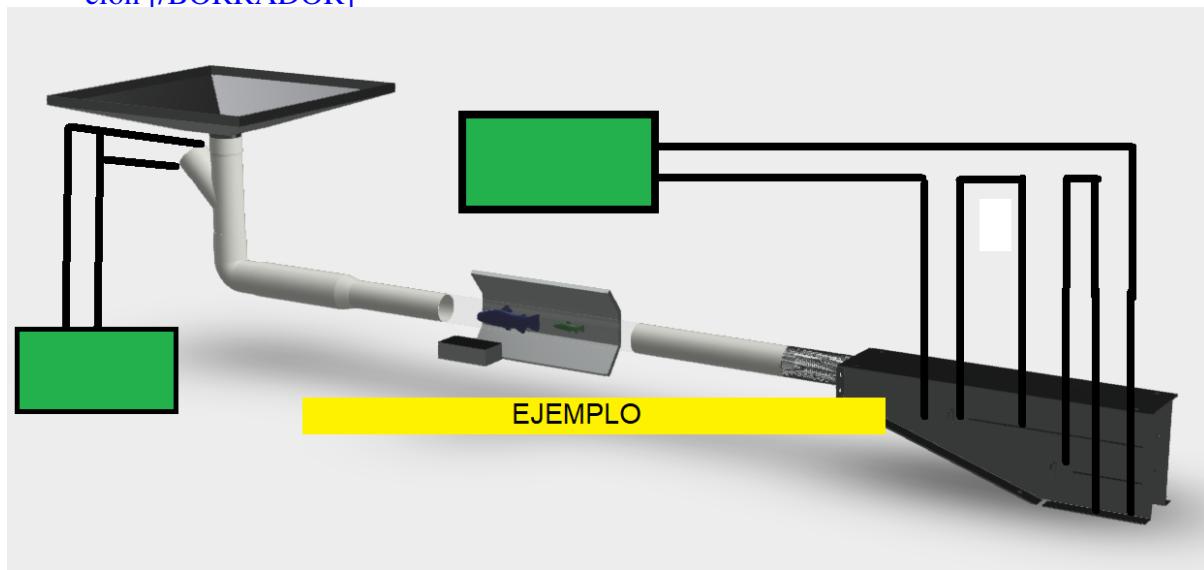
### 2.1.2.3 Diseño de subsistema de traslado de truchas

Las tuberías del sistema tienen como propósito abastecer de un flujo de agua constante a la máquina mientras está en funcionamiento. Cuatro canales de tuberías se abastecen de un flujo mediante este subsistema, accionado por bombas de agua y controlados por electroválvulas y sensores de caudal. Esto permite un correcto abastecimiento que no perjudique a las truchas. En las siguientes subsecciones se detalla el dimensionamiento de las tuberías, cálculo de caudales apropiados, selección de electroválvulas, su control asociado y selección de bombas de agua.

- **Diseño de tuberías**

[BORRADOR] Explicar características y requerimientos técnicos que se necesitarán en las tuberías [/BORRADOR]

[BORRADOR] Justificación de diámetro de tuberías de recepción, traslado, y distribución [/BORRADOR]

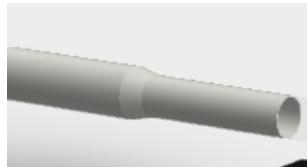


**Fig. 2.11 – Diseño de tuberías para el concepto óptimo**

Fuente: Elaboración propia.

- **Diseño de filtro único incluido**

[BORRADOR] Explicar características y requerimientos técnicos que se necesita para que pase una trucha por vez [/BORRADOR]



**Fig. 2.12 – Filtro único**

Fuente: Elaboración propia.

- **Selección de caudales apropiados**

En la Sección 2.1.5.1 se calcula la velocidad máxima, aproximada, de nado de las truchas arcoíris:  $16(cm/s)$ . La Ecuación 2.7 toma el valor de  $v_{max} = 16(cm/s)$  y el [BORRADOR] Terminar de redactar [/BORRADOR]

$$Q_{max} = v_{max} * A$$

$$Q_{max} = 16 * \frac{\pi}{4} * (r_{int})^2 \quad (2.7)$$

$$Q_{max} = 16 * \frac{\pi}{4} * (9.1)^2$$

$$Q_{max} = 1040.62$$

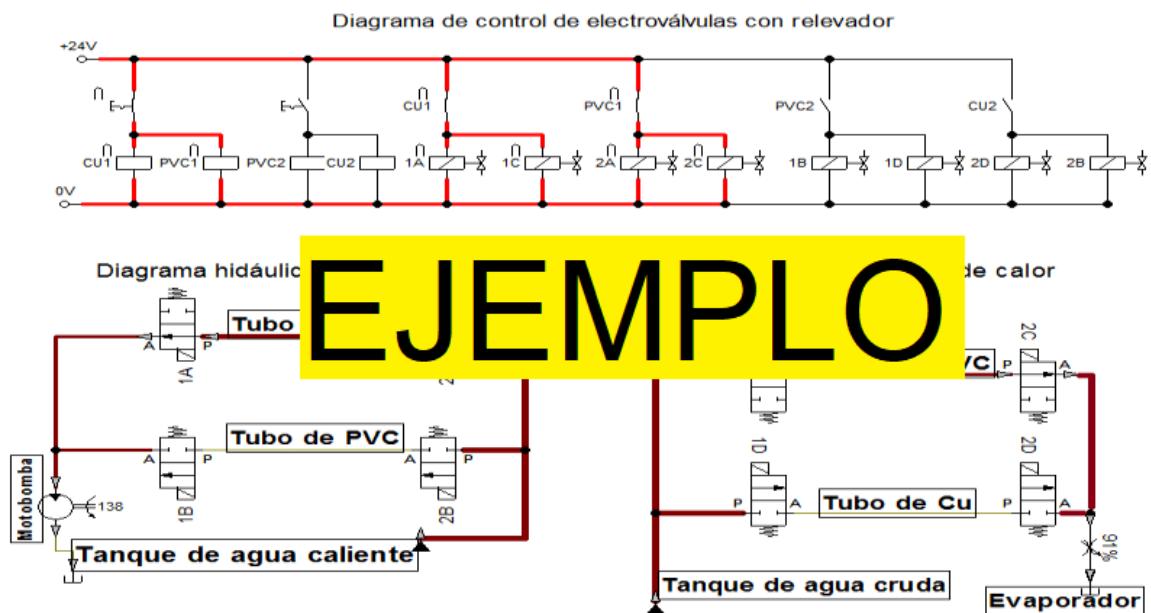
Donde:  $Q_{max}(cm^3/s)$  es el caudal máximo,  $v_{max}(cm/s)$  es la velocidad máxima del agua,  $r_{int}(cm)$ .

[BORRADOR] Explicar los caudales apropiados para cada salida, son 4 salidas para dos bombas de agua distintas [/BORRADOR]

- **Control de los caudales de agua**

Los caudales que generan las bombas de agua sirven para impulsar a las truchas por el interior de la máquina. [BORRADOR] Dar más detalle en este punto [/BORRADOR]

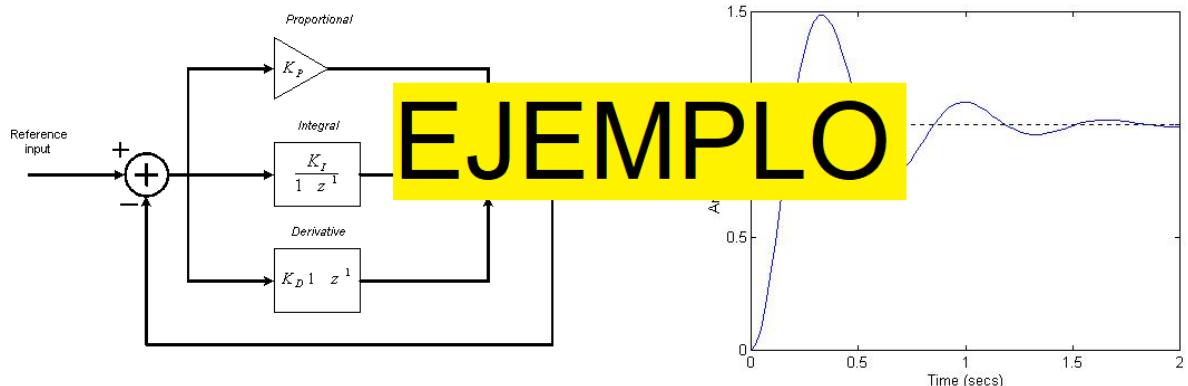
[BORRADOR] Explicar el diagrama de actuadores, sensores,... [/BORRADOR]



**Fig. 2.13 – Diagrama de control de electrovalvulas**

Fuente: Elaboración propia.

[BORRADOR] Explicar el control escogido, quizás PID para las electroválvulas [/BORRADOR]



**Fig. 2.14 – Control PID de una electrovalvula**

Fuente: Elaboración propia.

[BORRADOR] Calcular los valores PID [/BORRADOR]

[BORRADOR] Explicar qué dispositivo llevará el control PID: MCU, board especial, etc?? [/BORRADOR]

- Selección de bomba de agua

En la subsección anterior "*Diseño de subsistema de tuberías*" se calcularon los caudales apropiados para el sistema. La bomba de agua sumergible se selecciona de acuerdo a características técnicas como potencia, consumo de energía, horas de uso continuo, entre otras que se exponen en la Tabla 2.7.

**Tab. 2.7 – Tabla comparativa de bombas de agua sumergibles.**

Requisitos mínimos	1	2	3	
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	8	9	10	11
<b>A</b>	12	13	14	15
<b>B</b>	16	17	18	19
<b>C</b>	20	21	22	23
<b>D</b>	24	25	26	27
<b>E</b>	32	33	34	35

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia.

[BORRADOR] Explicar la elección [/BORRADOR]

- **Selección de las electroválvulas**

Los valores límites que se tendrían que controlar mediante las electroválvulas pertenecen al rango  $[0; 12345](m^3/s)$ . En la Tabla 2.8 se muestran algunos modelos comerciales que cumplen con estos requerimientos. [BORRADOR] Terminar de calcular caudal adecuado, luego se podrá seleccionar electroválvula [/BORRADOR]

**Tab. 2.8** – Tabla comparativa de electroválvulas

	Requisitos mínimos	1	2	3
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	8	9	10	11
<b>A</b>	12	13	14	15
<b>B</b>	16	17	18	19
<b>C</b>	20	21	22	23
<b>D</b>	24	25	26	27
<b>E</b>	32	33	34	35

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia.

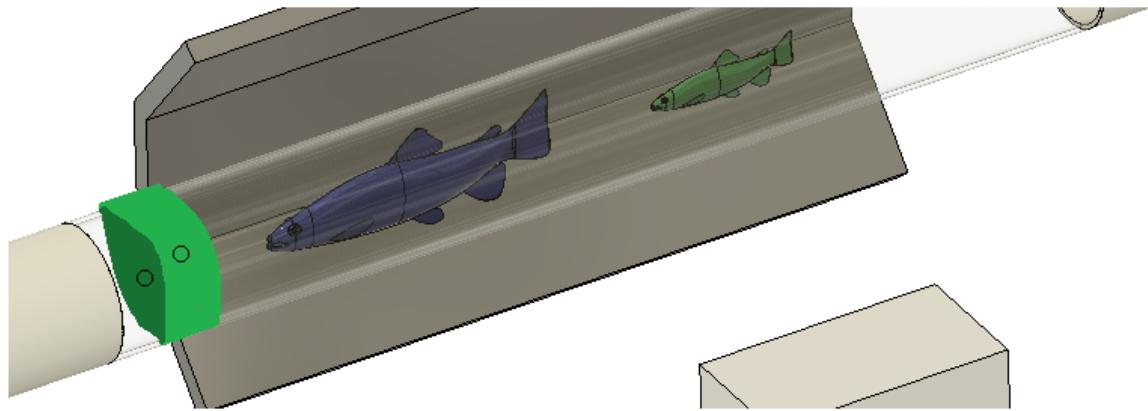
[BORRADOR] Escoger una electroválvula y argumentar la decisión [/BORRADOR]

### 2.1.3 Subsistema de procesamiento de imágenes

Este subsistema consiste obtener una serie de imágenes de una trucha en tránsito e indicar al sistema a dónde debería dirigirse una trucha determinada. El subsistema debe clasificar y contar truchas, con dicha finalidad necesita de la selección de una cámara y generar el ambiente adecuado para obtener las imágenes. Explicado los objetivos del subsistema, en las siguientes líneas se detalla: la selección del sensor infrarrojo, la selección de cámara estéreo, la selección de iluminación adecuada y la selección de algoritmos.

#### 2.1.3.1 Selección del sensor infrarrojo

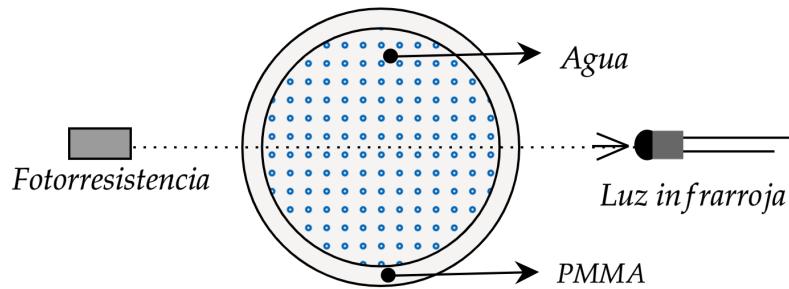
El sensor infrarrojo tiene como objetivo activar el algoritmo de detección y conteo de truchas por un determinado periodo de tiempo con la finalidad de evitar un sobre uso de los recursos computacionales. El sensor infrarrojo está unos centímetros antes de la parte que la cámara captura y su posición es como se muestra en las Figura 2.15.



**Fig. 2.15 – Posicionamiento del sensor infrarrojo**

Fuente: Elaboración propia.

Ya que los haces de luz cambian de dirección debido a la refracción<sup>16</sup>, cuando varía de un medio a otro, se calcula esta desviación para la adecuada detección de objetos que pasen por la tubería. La representación gráfica de la situación se expone en la Figura 2.16.



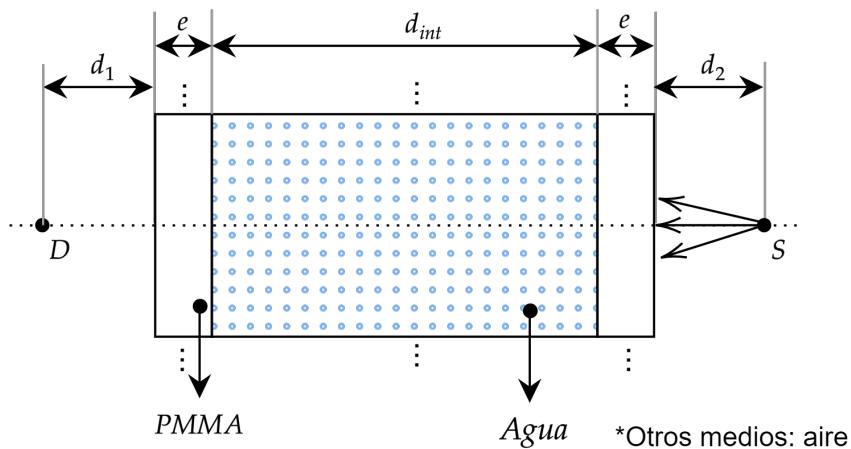
\*Otros medios: aire

**Fig. 2.16 – Análisis de posición de luz infrarroja**

Fuente: Elaboración propia.

El problema se muestra en la Figura 2.17. Cabe mencionar que se conocen los siguientes valores  $n_{PMMA} = 1.5^{17}$ ,  $n_{aire} \approx 1$ ,  $n_{agua} = 1.33^{18}$ ,  $d_1 = d_2 = 10mm.$ ,  $e = 3mm.$  y  $d_{int} = 85mm.$ , y se asume, para simplificar el problema, la emisión de la luz como proveniente de un punto único ( $S$ ).

- 
- 16. Hecht (2017).
  - 17. Propiedades ópticas mostradas en la Tabla 2.2. Berins (1991)
  - 18. Índices de refracción: Hecht (2017).



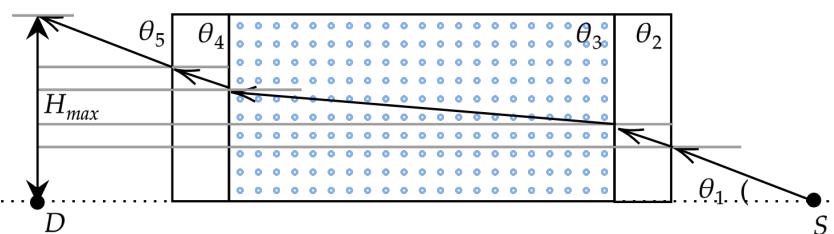
**Fig. 2.17 – Cálculo de posición de luz infrarroja**

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de desviación de los haces de luz se emplea la ley de refracción, matemáticamente mostrada en la Ecuación 2.8. Donde:  $\theta_i$  es el ángulo de incidencia respecto a la normal del primer medio,  $\theta_t$  es el ángulo de refracción respecto a la normal.

$$n_i * \sin(\theta_i) = n_t * \sin(\theta_t) \quad (2.8)$$

En la Figura 2.18 se analiza el caso crítico cuando  $\theta_1 \approx 5^\circ$ . Con la Ecuación 2.8 se puede calcular las distancias de desviación por refracción. Por ejemplo, En la Ecuación 2.9 el valor de  $h_x$  es la distancia proyectada:  $h_x = d_x * \tan(\theta_x)$ .



**Fig. 2.18 – Cálculo de distancia máxima de desviación de haz de luz en condiciones ideales.**

Fuente: Elaboración propia.

---

$$H_{max} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

$$H_{max} = 10 * \tan(\theta_1) + 3 * \tan(\theta_2) + 85 * \tan(\theta_3) + 3 * \tan(\theta_4) + 10 * \tan(\theta_5) \quad (2.9)$$

$$H_{max} = 10 * \tan(5^\circ) + 3 * \tan(3.33^\circ) + 85 * \tan(3.76^\circ) + 3 * \tan(3.33^\circ) + 10 * \tan(5^\circ)$$

$$H_{max} = 7.685 \text{ mm.}$$

Para una óptima recepción se propone llegar como mínimo 75% de haces de luz. Esto quiere decir que del diámetro ideal del dispositivo receptor debe ser de 15.4 mm y el óptimo 13.33 mm.<sup>19</sup> Finalmente, los requerimientos mínimos que debe tener el sensor infrarrojo óptimo y comparaciones técnicas de los dispositivos comerciales que cumplen con los requerimientos se muestran en la Tabla 2.9.

---

19.  $d_{ideal-receptor} = 2 * H_{max} = 15.4 \text{ mm.}$  y  $d_{75\%-receptor} = \sqrt{0.75 * 15.4^2} = 13.33 \text{ mm.}$

**Tab. 2.9 – Tabla comparativa de sensores infrarrojos.**

	<b>Requisitos mínimos</b>	<b>HD-DS25 CM-3MM</b>	<b>QT50CM</b>	<b>GP2Y0A 21YK0F</b>
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	Adafruit	Adafruit	SHARP
<b>Tipo de comunicación</b>	Digital	[0;VCC]	[0;VCC]	Analógico
<b>Área mínima circular de receptor (<math>mm^2</math>)</b>	15.4	28.27	78.54	162.86
<b>Ángulo de visión/recepción (<math>^\circ</math>)</b>	5	10	10	-
<b>Distancia de detección (mm.)</b>	170	[0;250]	[0;500]	[100;800]
<b>Longitud de onda infrarroja recomendada (nm)</b>	850	-	-	$870 \pm 70$
<b>Voltaje operativo VCC (V)</b>	5	[3.0;5.5]	[3.0;5.5]	[4.5;5.5]
<b>Consumo de corriente (mA)</b>	-	100	100	30
<b>Temperatura operativa (<math>^\circ C</math>)</b>	[-10;60]	[-25;60]	[-25;60]	[-10;60]
<b>Precio (\$/)</b>	-	7.00	23.32	53.68

Fuente: Marktech Optoelectronics y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

**[BORRADOR] Seleccionar uno y explicar la selección [/BORRADOR]**

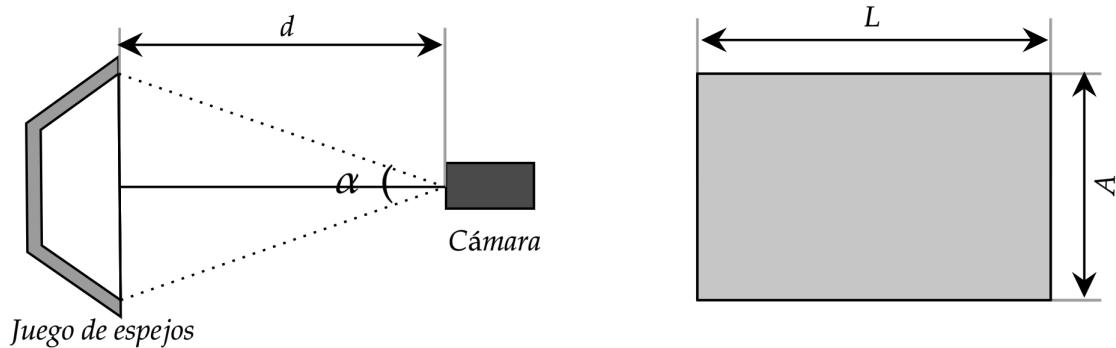
### 2.1.3.2 Selección de cámaras

En el sistema se emplea dos cámaras con distintos requerimientos técnicos. Por un lado, una cámara estéreo se encarga de capturar imágenes que van a ser procesadas por algoritmos de detección y conteo de truchas. Por otro lado, una cámara normal registra la trayectoria de las truchas que en la distribución de estas a los canales de salida definidos por los algoritmos.

- Cálculo de distancias apropiadas de las cámaras**

El área que se debe captar sobre el proceso, sin las tuberías transparentes, se representan

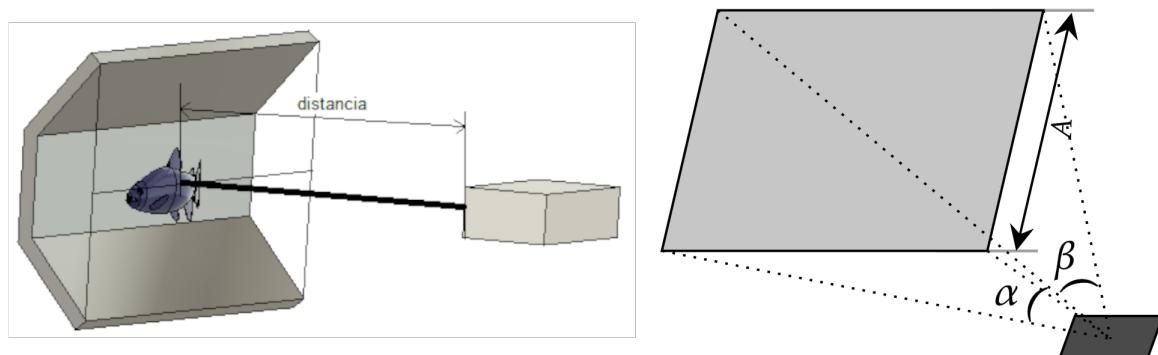
en una vista frontal y de perfil en la Figura 2.19. Donde:  $d$  es la distancia entre el juego de espejos y la cámara,  $\alpha$  es el HDFV<sup>20</sup>,  $\beta$  es el VDFV<sup>21</sup>,  $A$  es la altura del área proyectada y  $L$  es la largo del área proyectada del juego de espejos.



**Fig. 2.19 – Distancia entre juego de espejos y cámara estéreo**

Fuente: Elaboración propia.

De la geometría se obtiene los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ , que dependen de las otras variables. El posicionamiento de la cámara ( $d$ ) estéreo estará sujeto a sus valores de HDFV y VDFV como se muestra en la Ecuación 2.11 y 2.10, respectivamente.



**Fig. 2.20 – Cálculo de distancia apropiada para la cámara estéreo**

Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{aligned} \tan(\alpha_{min}/2) &= \frac{A/2}{d} \\ \alpha_{min} &= 2 * \arctan\left(\frac{A}{2 * d}\right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

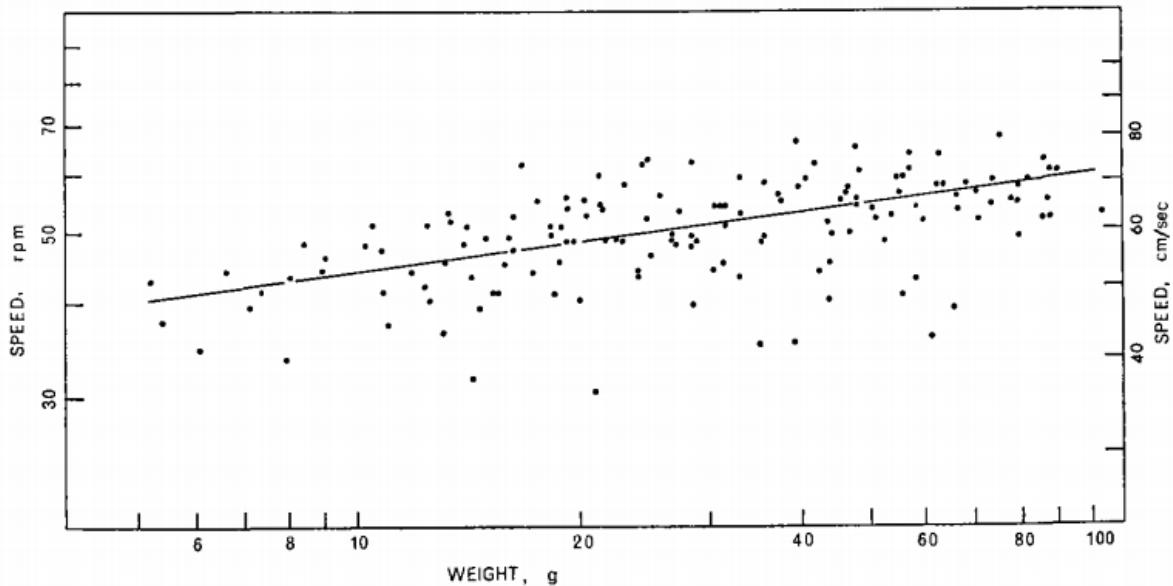
- 20. Campo de visión horizontal.
- 21. Campo de visión vertical.

$$\tan(\beta_{min}/2) = \frac{L/2}{d}$$

$$\beta_{min} = 2 * \arctan\left(\frac{L}{2*d}\right)$$
(2.11)

- **Cálculo de cuadros por segundo (fps) necesarios para la cámara estéreo**

[BORRADOR] Agregar descripción [/BORRADOR]



**Fig. 2.21** – Aproximación lineal de la relación entre peso y la velocidad de nado de truchas arcoíris

Fuente: Fry & Cox (1970)

En la Ecuación 2.12 se muestra la relación entre  $X$ : *peso de la trucha (g)* e  $Y$ : *velocidad de nado (cm/s)* con un error  $Z = \pm 0.033$ .

$$Y = -3.965 + 2.908(Z)X$$
(2.12)

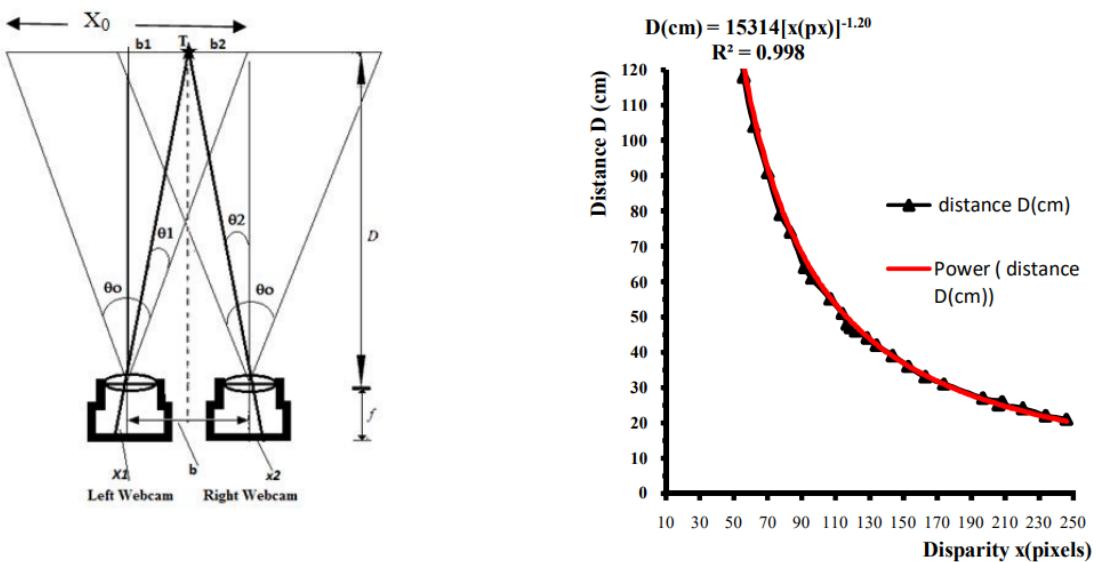
En el caso de este trabajo, la dimensión máxima y mínima de las truchas arcoíris son de 20 cm y 15 cm, respectivamente. De la Tabla *Clasificación de truchas por etapas de producción*<sup>22</sup> podemos obtener los gramos mediante interpolación lineal para cada límite: valores mínimo-máximo son 153 y 199 g, respectivamente. Utilizando los valores antes indicados y empleando la Ecuación 2.12 obtenemos los valores límites dentro del rango

22. Díaz Vergara (2020)

[10.71; 15.13](cm/s). Luego de escoger la máxima velocidad con redondeo hacia arriba  $v_{max} = 16\text{cm/s}$ ), [BORRADOR] Falta explicación [/BORRADOR]

- **Selección de cámara estéreo**

El objetivo de la cámara estéreo es la de obtener fotos por determinado periodo de tiempo designado por los algoritmos de procesamiento de imágenes. Con el fin de cumplir el objetivo mencionado deben cumplirse requerimientos técnicos: fotografiar a la trucha con un enfoque aceptable que permita distinguir a la trucha adecuadamente, ángulo de visión horizontal y vertical, resolución, entre otros. En la Figura 2.22 se visualiza un diagrama referencial de una cámara estéreo, con la cuál podemos obtener distancias a partir de dos imágenes.



**Fig. 2.22 –**(Izq.) Diagrama esquemático de un objeto representado por dos cámaras alineadas horizontalmente separadas por una pequeña distancia. (Der.) Dependencia de la distancia del objeto en la disparidad.

Fuente: Mahammed et al. (2013)

[BORRADOR] Falta explicación [/BORRADOR]

Por ejemplo, el error realizado en pruebas con vehículos autónomos brindado en Zaarane et al. (2020) se muestra en la Figura 2.23.

**Table 1**  
The measured distance in various base length.

Base Vehicles	Measured distance (m)								Real distance (m)
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
1	7,90	7,94	8,27	8,22	8,16	<b>8,10</b>	8,08	8,13	8,10
2	9,32	9,30	9,27	9,10	9,22	<b>9,18</b>	<b>9,18</b>	9,21	9,15
3	18,20	18,41	18,37	18,40	<b>18,32</b>	<b>18,32</b>	18,29	18,27	18,34
4	12,30	12,28	12,34	12,33	12,35	12,39	<b>12,38</b>	12,37	12,38
5	5,15	5,11	5,32	5,28	5,14	<b>5,22</b>	5,23	5,23	5,20
6	22,96	22,56	22,66	22,81	22,78	<b>22,73</b>	<b>22,73</b>	22,66	22,70
7	13,89	13,93	14,09	14,06	13,96	<b>13,98</b>	14,03	14,04	14
8	15,21	15,20	15,26	15,24	15,33	15,28	15,31	<b>15,30</b>	15,30
9	17,16	16,96	17,11	17,11	16,99	<b>17,06</b>	17,03	17,02	17,05

**Fig. 2.23** – Pruebas de medición con distintas distancias al objeto.

Fuente: Zaarane et al. (2020)

En la Tabla 2.10 se muestra tanto los requerimientos mínimos como las cámaras estéreo candidatas para el sistema. El cálculo mencionado en la sección anterior se calcula luego de escoger una de entre las tres opciones mostradas.

**Tab. 2.10 – Tabla comparativa de cámaras estéreo.**

	<b>Requisitos mínimos</b>	<b>OAK-D</b>	<b>B0263</b>	<b>B0204</b>
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	OpenCV	ArduCam	ArduCam
<b>Sensor óptico</b>	-	OV9282	OV9281	OV2311
<b>Tipo de obturador</b>	Global sincronizado	Global sincronizado	Global sincronizado	Global dual
<b>Escala de colores</b>	-	RGB	B/N	B/N
<b>Resolución</b>	0.5MP	1MP (1280x800 px/3μm)	1MP (1280x800 px/3μm)	2MP (1600x1300 px/3μm)
<b>Frames por segundo (FPS)</b>	60	120	60	60
<b>Tamaño de lente (")</b>	Independiente	1/2.3	1/4	1/2.9
<b>Enfoque (mm.)</b>	-	[196;∞]	[30;∞]	[30;∞]
<b>Campo de visión ° (HFDV,VFDV,DFDV)<sup>23</sup></b>	Adaptable	71.8, -, 81.0	70, 52.1 , -	100, 68.2, -
<b>Procesamiento gráfico</b>	-	MA2085 VPU <sup>24</sup>	Jetson Nano o Xavier NX	Raspberry Pi 3
<b>Temperatura operativa</b>	[-10;50]	[-30;60]	[-30;85]	[-30;85]
<b>Soporte IA<sup>25</sup></b>	-	Sí	Sí	No
<b>Consumo de energía (W)</b>	<10	≈ 4	-	-
<b>Precio (S/)</b>	<1000	475.41	358.97	717.28

Fuente: OpenCV, ArduCam y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Decisión de qué actuador será escogido y por qué en base a las características mencionadas [/BORRADOR]

#### • Selección de cámara simple

La cámara simple tiene como función verificar la correcta trayectoria de las truchas en el mecanismo de distribución hacia las respectivas jaulas flotantes. Los requerimientos

23. HFDV: Campo de visión horizontal. VFDV: Campo de visión vertical. DFDV: Campo de visión diagonal

24. Movidius™ Myriad™ VPU. Enlace a unidad de procesamiento de visión.

25. Chips diseñados y optimizados para procesar detección de objetos mediante redes neuronales.

técnicos se presentan en la Tabla 2.11 así como las principales características de cada una.

**Tab. 2.11 – Tabla comparativa de cámaras.**

	Requisitos mínimos	B0249	Alvium 1800 U-500m	OAK-1
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	ArduCam	Allied Vision	ArduCam
<b>Sensor óptico</b>	-	IMX477	ON Semi AR0521SR	IMX378
<b>Tipo de obturador</b>	-	Global	Rolling	Global
<b>Escala de colores</b>	-	RGB	B/N	RGB
<b>Resolución</b>	0.5MP	12.3MP (4056x 3040 px/1.55μm)	5MP (2592x 1944 px/2.2μm)	12MP (4056x 3040 px/1.55μm)
<b>Frames por segundo (FPS)</b>	40	60	67	60
<b>Tamaño de lente (")</b>	Independiente	1/2.3	1/2.5	1/2.3
<b>Campo de visión ° (HFDV,VFDV,DFDV)<sup>26</sup></b>	Adaptable	65.0, -, -	-	71.8, -, 81.0
<b>Procesamiento gráfico</b>	-	Jetson Nano o Xavier NX	Jetson Nano o Xavier NX	MA2085 VPU <sup>27</sup>
<b>Temperatura operativa</b>	[-10;50]	[-20;60]	[5;80]	[-30;60]
<b>Consumo de energía (W)</b>	<5	-	[≈2.2;≈2.4]	≈2
<b>Precio (S/)</b>	<500	196.81	595.7	355.41

Fuente: Allied Vision, ArduCam y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Decisión de qué cámara será escogida y por qué, en base a las características mencionadas [/BORRADOR]

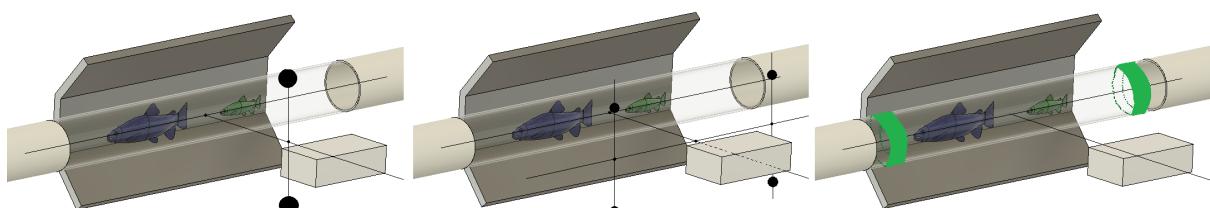
### 2.1.3.3 Selección de iluminación adecuada

[BORRADOR] Explicar. [/BORRADOR]

- 26. HFDV: Campo de visión horizontal. VFDV: Campo de visión vertical. DFDV: Campo de visión diagonal
- 27. Movidius™ Myriad™ VPU. Enlace a unidad de procesamiento de visión.

#### 2.1.3.4 Selección de LED de alta potencia

El propósito de los LEDs de alta potencia es iluminar la zona en la que se realiza la captura de imágenes para detectar truchas y procesarlas. El uso de una led adecuado puede mejorar el rendimiento de la cámara. En la Figura 2.24 se muestra las opciones de iluminación que se consideraron, resultando el uso de dos tiras de LEDs adecuadas para el sistema.



**Fig. 2.24 –**(Izq.) Iluminación con dos LEDs frente al sistema. (Cen.) Iluminación con cuatro LEDs frente al sistema. (Der.) Iluminación con dos tiras LEDs.

Fuente: Elaboración propia.

Una iluminación adecuada es tan importante como la selección de los otros componentes del subsistema: la ausencia de una iluminación adecuada puede degradar el rendimiento de los algoritmos, así como los de obtención de fotografías en la cámara estéreo debido al tiempo de exposición necesario por fotografía.

$$Iluminacion_{necesaria} = 1000 \quad (2.13)$$

[BORRADOR] Encontrar referencias bibliográficas de valores de iluminación adecuadas para este propósito. [BORRADOR]

En la Tabla 2.12 se muestra una tabla técnica comparativa. [BORRADOR] Introducción para la tabla [/BORRADOR]

**Tab. 2.12 – Tabla comparativa de leds de alta potencia.**

	<b>Requisitos mínimos</b>	<b>JED-LS12V/ T20/ 120/ 5</b>	<b>PSH601A/ PSH602A</b>	<b>PSB602Z</b>
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	JEDVER	NICHIA	PERFECT
<b>Potencia de LED (W/m)</b>	-	9.6	14.4	18
<b>Temperatura operativa (°C)</b>	-	[-20;50]	[-20; 45]	[-20; 45]
<b>Eficacia luminosa (lm/W)</b>	-	80	-	75
<b>Flujo luminoso (lm)</b>	-	1020lm	20LM	60-65LM
<b>Material principal</b>	-	FPC	Cobre	Cobre
<b>Fuente de luz LED</b>	-	SMD2016	SMD5050	SMD3030
<b>Nivel de protección (IP)</b>	-	[IP20; IP65]	[IP20; IP68]	[IP20; IP68]
<b>Voltaje de consumo (V)</b>	-	12	12/24	24
<b>Cantidad de leds (LEDs/m)</b>	-	60	60	60
<b>Temperatura de color (K)</b>	-	[2700; 6500]	[2700; 6000]	[2700; 6500]
<b>Tiempo de vida útil (h)</b>	-	50000	35000	30000
<b>Presentación comercial (m)</b>	-	50	10	20
<b>Precio por metro (S/)</b>	-	3.95	17.23	26.93

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Decisión de qué LED será escogido y por qué, en base a las características mencionadas [/BORRADOR]

### 2.1.3.5 Selección de algoritmo de clasificación y conteo

Los algoritmos tienen como objetivo contar y clasificar truchas. [BORRADOR] Explicar la necesidad de algoritmos. Explicar por qué algoritmos de detección CNN. [/BORRADOR]

Los algoritmos de detección son evaluados en la Tabla 2.13 mediante una comparación

---

técnica en cuanto a diversos puntos: [BORRADOR] tiempo de respuesta, costo de hardware requerido, consumo eléctrico del hardware, etc. [/BORRADOR]

**Tab. 2.13** – Tabla comparativa de algoritmos.

	Requisitos mínimos	1	2	3	1	2	3
Figura	-	5	6	7	5	6	7
Fabricante	8	9	10	11	9	10	11
A	12	13	14	15	13	14	15
B	16	17	18	19	17	18	19
C	20	21	22	23	21	22	23
D	24	25	26	27	25	26	27
E	32	33	34	35	33	34	35

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Redes analizadas: YOLO, YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5. CNN

- Fish segmentation. Falta: Segmentación por características, otros.

Referenciar a todas las versiones de YOLO. YOLO J. S. D. R. G. A. F. Redmon (2016), YOLO v2.0 J. Redmon & Farhadi (2017), YOLO v3.0 J. Redmon & Farhadi (2018), YOLO v4.0 Solawetz (2020), YOLO v5.0 Bochkovskiy et al. (2020). [/BORRADOR]

#### 2.1.4 Subsistema de suministro de energía

El sistema debe suministrar energía a los diversos mecanismos electrónicos, sistemas de control y actuadores necesarios para que la máquina funcione de manera apropiada. Este subsistema debe cumplir diversos requerimientos: estar herméticamente aislado a la entrada de agua, .....

En los siguientes párrafos se analizaran a detalle: la selección de la batería, la selección de la fuente de alimentación, la selección de transformadores, la selección de fuentes switching, el diagrama esquemático y el diagrama eléctrico.

---

#### 2.1.4.1 Selección de fuente de alimentación

La fuente de alimentación permite convertir la energía suministrada en corriente alterna a corriente continua mediante el uso de rectificadores de alta eficiencia. En la Tabla 2.14 se visualizan los requerimientos técnicos mínimos que deben tener los dispositivos, además se presentan tres alternativas de las cuales una es seleccionada para ser empleada en el sistema.

**Tab. 2.14** – Tabla comparativa de fuentes de alimentación.

	Requisitos mínimos	T1	T2	T3
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	12SAF4	AFAS222	ASFASF
<b>ABC</b>	-	1	2	3
<b>Precio (S/)</b>	-	22	42	12

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Explicar la selección [/BORRADOR]

#### 2.1.4.2 Selección de reguladores de voltaje de conmutación

Los reguladores de voltaje de conmutación permiten dividir la tensión eléctrica continua de manera más eficiente comparado con otros métodos. En las Tablas 2.15, 2.16 y 2.17 se muestran los requerimientos mínimos para cada regulador dependiendo del voltaje de entrada y salida. La comparación de entre tres modelos permite una selección básica del componente óptimo.

**Tab. 2.15** – Tabla comparativa de reguladores de voltaje de conmutación de X DC a Y DC.

	Requisitos mínimos	T1	T2	T3
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	12SAF4	AFAS222	ASFASF
<b>ABC</b>	-	1	2	3

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Explicar la selección [/BORRADOR]

**Tab. 2.16** – Tabla comparativa de reguladores de voltaje de conmutación de X DC a Y DC.

	Requisitos mínimos	T1	T2	T3
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	12SAF4	AFAS222	ASFASF
<b>ABC</b>	-	1	2	3

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Explicar la selección [/BORRADOR]

**Tab. 2.17** – Tabla comparativa de reguladores de voltaje de conmutación de X DC a Y DC.

	Requisitos mínimos	T1	T2	T3
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	12SAF4	AFAS222	ASFASF
<b>ABC</b>	-	1	2	3

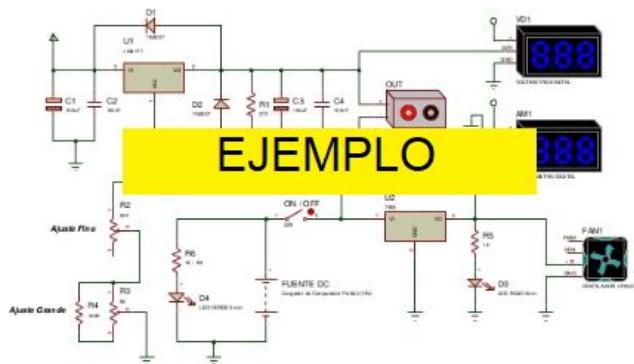
Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Explicar la selección [BORRADOR]

#### 2.1.4.3 Diagrama esquemático

[BORRADOR] Explicar el diagrama esquemático [BORRADOR]



**Fig. 2.25** – Diagrama esquemático del sistema

Fuente: Elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

---

## 2.1.5 Subsistema de control e interacción con el usuario

El presente subsistema tiene como fin monitorear y controlar los sensores y actuadores, establecer comunicación con los dispositivos de interacción con el usuario tal como un celular o una computadora portátil. Consecuentemente, en las siguientes subsecciones se detalla: la selección de componentes, el cálculo de consumo de energía del sistema, diagrama de flujo de los procesadores de datos y finalmente el diseño frontend de la aplicación móvil.

### 2.1.5.1 Selección de microprocesador

El microprocesador se encarga de recibir los datos que le envía el módulo de procesamiento de imágenes tanto de la cámara estéreo como de la cámara simple. Si bien el procesamiento de imágenes se realiza en los módulos mencionados<sup>28</sup>, el control de abrir/cerrar compuertas mediante el accionamiento de los motores a paso, control PID de las electroválvulas y conexión con el subsistema de interacción con el usuario se realizan en el microprocesador. Las funciones anteriormente mencionadas se traducen en una serie de requisitos en los tipos y números de pines que se muestran de manera técnica en la Tabla 2.18.

**Tab. 2.18** – Pines necesarios en el microprocesador.

Descripción	Nro. de pines	Tipo de comunicación	Entrada/Salida
Control LED Iluminación 1	1	GPIO	Salida
Control LED Iluminación 2	1	GPIO	Salida
Indicador: Bocina	1	GPIO	Salida
Indicador: LED	1	GPIO	Salida
Control Electroválvula 1	1	GPIO	Salida
Control Electroválvula 2	1	GPIO	Salida
Control Electroválvula 3	1	GPIO	Salida
Control Electroválvula 4	1	GPIO	Salida
Cámara estéreo	1	>USB 3.0	Bidireccional
Cámara simple	1	>USB 3.0	Bidireccional
Control Bombas de agua	3	I2C	Bidireccional
Control Motor a pasos	3	GPIO	Salida

Fuente: Elaboración propia.

---

28. Las cámaras cuentan con procesadores incorporados especializados en imágenes.

En la Tabla 2.19 se muestran los requerimientos mínimos y tres alternativas para escoger el microprocesador óptimo. Dichos requerimientos mínimos contemplan características técnicas: consumo de energía, cantidad de pines, velocidad de procesamiento, tipos de comunicación, etc.

**Tab. 2.19** – Tabla comparativa de microprocesadores.

	Requisitos mínimos	Raspberry Pi 4 B	ASUS Tinker Board S	Helios64
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	Raspberry	ASUS	Kobol
<b>CPU</b>	0.5 Ghz	ARM Cortex A72@ 1.5 GHz	Quad-Core RK3288	ARM 64-bit Hexacore
<b>Pines GPIO</b>	8	40	28	20
<b>Conexiones USB</b>	2xUSB 3.0	2xUSB2.0 y 2xUSB3.0	2xUSB3.0	3xUSB3.0
<b>Conexión a Internet</b>	WiFi 2.4Ghz	Ethernet y WiFi 2.4Ghz-5Ghz	WiFi 2.4Ghz	Ethernet y WiFi 2.4Ghz-5Ghz
<b>Voltaje de alimentación (V)</b>	5	5	5	12
<b>Consumo de corriente<sup>29</sup> (A)</b>	-	3	3	3
<b>Procesador gráfico</b>	-	VideoCore VI	ARM® Mali™-T764 GPU	Mali-T860MP4
<b>Cantidad de pines PWM</b>	-	4	4	2
<b>Cantidad de pines I2C</b>	2	4	4	2
<b>RAM (GB)</b>	-	4	2	4
<b>Precio (\$/)</b>	-	197.45	327.19	678.51

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Seleccionar y explicar selección... [/BORRADOR]

29. En uso típico.

### 2.1.5.2 Selección de indicadores

Los indicadores ya sean visuales o sonoros son parte fundamental de una máquina y se usan los dos tipos de indicadores para redundar el sistema de alertas de la CCT<sup>30</sup>. En el caso de la CCT el sistema debe indicar al operario diversos estados o funciones: al detectar una trucha, al contar una trucha, al encender y al apagar.

- **Indicador visual:** Los indicadores visuales indican al usuario diversos estados de la máquina: prendido, procesando, apagado y error general. Por lo que el indicador visual, además de ser visible bajo la luz del día, brinda una gama de colores superior a 4 fácilmente diferenciables. Los indicadores visuales LED son ideales para esta situación. En la Tabla 2.20 se comparan tres dispositivos que cumplen con los requerimientos mínimos.

**Tab. 2.20 – Tabla comparativa de indicadores visuales.**

	Requisitos mínimos	111111	222222	333333
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	AAAAA	AAAAA	AAAAAA
<b>Tipo de obturador</b>	ASFASFSAF	WERWRWER	ASFASF	AAAAAA

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnico (*Datasheet*) en el Anexo.

Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

[BORRADOR] Seleccionar y explicar [/BORRADOR]

- **Indicador sonoro:** Similar a un indicador visual, una bocina indica al operario el estado de la máquina. Sin embargo, los indicadores sonoros son perfectos para alertar al operario de algún mal funcionamiento de la máquina. En la Tabla 2.21 se compara características técnicas entre algunas bocinas candidatas para el sistema.

30. Máquina Contadora y Clasificadora de Truchas.

---

**Tab. 2.21 – Tabla comparativa de bocinas**

	<b>Requisitos mínimos</b>	<b>SE-B40</b>	<b>KH</b>	<b>TS-G1010F</b>
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-			
<b>Dimensión (cm.)</b>	-			
<b>Frecuencia de trabajo (Hz)</b>	-			
<b>Voltaje de alimentación (V)</b>	-	12 VDC	12 VDC	12 VDC
<b>RMS (W)</b>	-	80	25	30
<b>Precio (S/)</b>	-	105	105	79
<b>Disponibilidad</b>	Inmediata	A pedido	A pedido	A pedido

Fuente: Imágenes de dominio público, y elaboración propia.

[\[BORRADOR\] Seleccionar y explicar \[/BORRADOR\]](#)

#### **2.1.5.3 Selección de interruptor de seguridad de apagado de emergencia**

La implementación de un interruptor de seguridad es muy importante en el diseño de máquinas ya que es el mecanismo físico por el cual podemos parar la máquina quitando el suministro eléctrico a todos los componentes. En la Tabla 2.22 se compara características técnicas entre interruptor de seguridad candidatos para el sistema.

**Tab. 2.22** – Tabla comparativa de interruptor de seguridad de apagado de emergencia.

	<b>Requisitos mínimos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	9	10	11
<b>Nivel de protección</b>	12	13	14	15
<b>Máximo voltaje admisible (V)</b>	16	17	18	19
<b>Diámetro del botón (mm.)</b>	20	21	22	23
<b>Precio (S/)</b>	24	25	26	27
<b>Disponibilidad</b>	32	33	34	35

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia.

[BORRADOR] Seleccionar y explicar [/BORRADOR]

#### 2.1.5.4 Selección de interruptor de interruptor tipo hongo

El encendido o apagado de la máquina es realizado por este interruptor, es decir, el control del suministro de energía del sistema depende de dicho dispositivo. En la Tabla 2.23 se compara características técnicas entre interruptores tipo hongo candidatos para el sistema.

**Tab. 2.23** – Tabla comparativa de interruptor de interruptor tipo hongo.

	<b>Requisitos mínimos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Figura</b>	-			
<b>Fabricante</b>	-	9	10	11
<b>Nivel de protección</b>	12	13	14	15
<b>Máximo voltaje admisible (V)</b>	16	17	18	19
<b>Diámetro del botón (mm.)</b>	20	21	22	23
<b>Precio (S/)</b>	24	25	26	27
<b>Disponibilidad</b>	32	33	34	35

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia.

[BORRADOR] Seleccionar y explicar [/BORRADOR]

#### 2.1.5.5 Cálculo del consumo de energía del sistema

El cálculo del consumo de energía del sistema es la suma de potencia requerida por cada componente. Dicha información se presenta en la Tabla 2.24, además se muestra el modelo, la potencia máxima, voltaje de cada componente. Se considera, también, la cantidad de cada modelo de componente electrónico usado en el sistema.

**Tab. 2.24** – Tabla de consumo de energía del sistema por dispositivo.

Modelo (Datasheet)	I max (mA)	V (Volts)	P. Unitario (mW)	Cant. (und.)	Pot. tot (W)
Motor a pasos 1	1	GPIO	Salida	Salida	Salida
Motor a pasos 2	1	GPIO	Salida	Salida	Salida

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia.

#### 2.1.5.6 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo principal, expuesto en la Figura 2.26 describe los pasos necesarios para el control del sistema. [BORRADOR] Explicar diagrama de flujo [/BORRADOR]

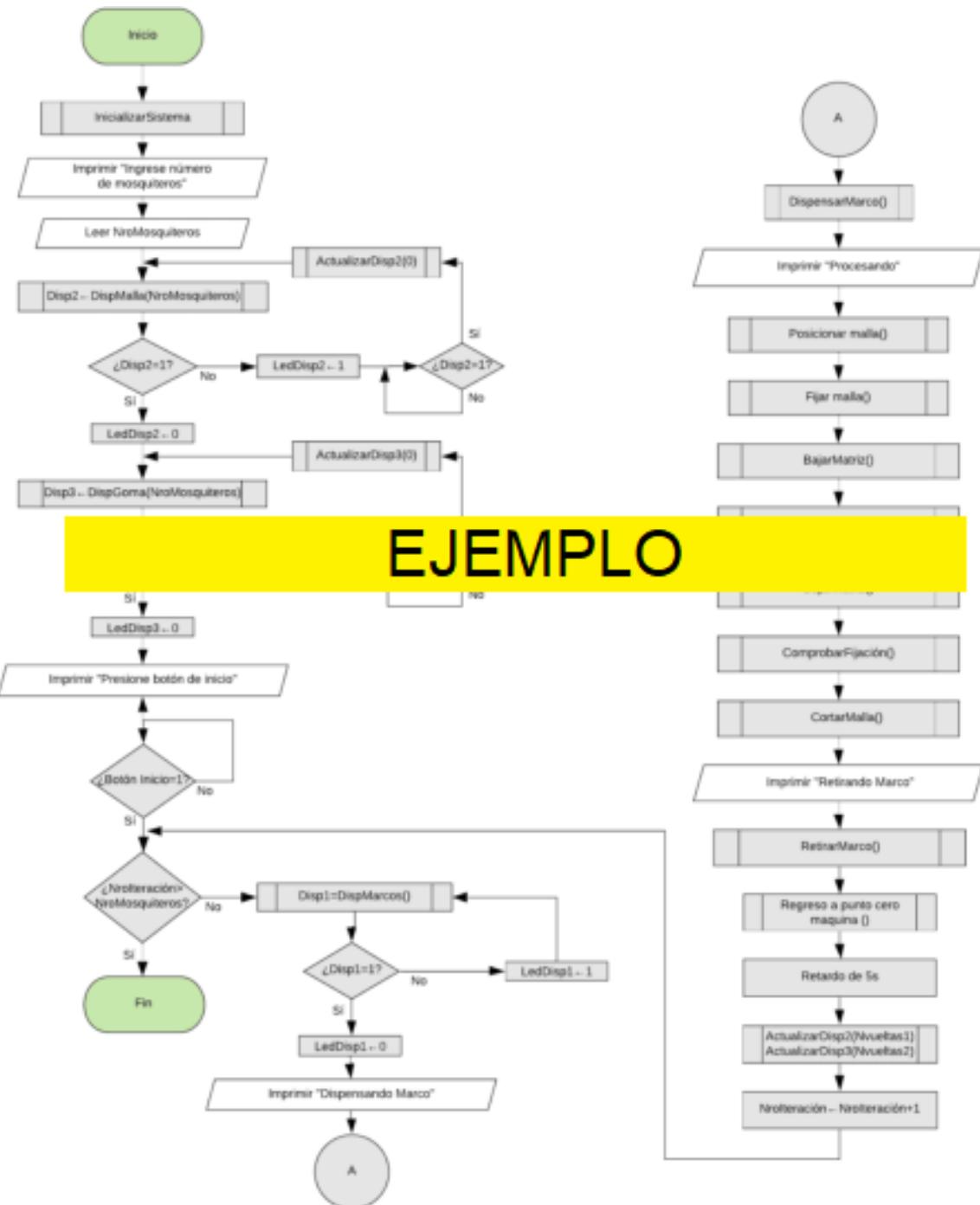


Fig. 2.26 – Diagrama de flujo principal

Fuente: Elaboración propia.

---

### **2.1.5.7 Diseño frontend de la aplicación móvil**

La aplicación móvil permitirá a un operario visualizar los estados de la máquina, así como tener un registro de la clasificación y conteo de truchas, es decir, extraer los datos luego de ser procesados por la máquina CCT de manera inalámbrica al terminar el proceso. Además, posterior a este trabajo, podría agregarse más características al aplicativo móvil. El framework de desarrollo del aplicativo, que no se desarrollará en el presente trabajo, escogido es Flutter por su paradigma multiplataforma, es decir, escribir un programa que se vea igual en los sistemas operativos Android y iOS Simone (2020). El diseño frontend escogido para el proyecto y su desarrollo sencillo

[BORRADOR] Bibliografía:

Designing the obvious Joekman (2010)

Google Flutter Mobile Development Quick Start Guide Prajyot Mainkar (2019)

Mobile Learning Design: Theories and Application Churchill et al. (2016)

Mobile Design Pattern Gallery: UI Patterns for Mobile Applications Neil (2012) [/BORRADOR]

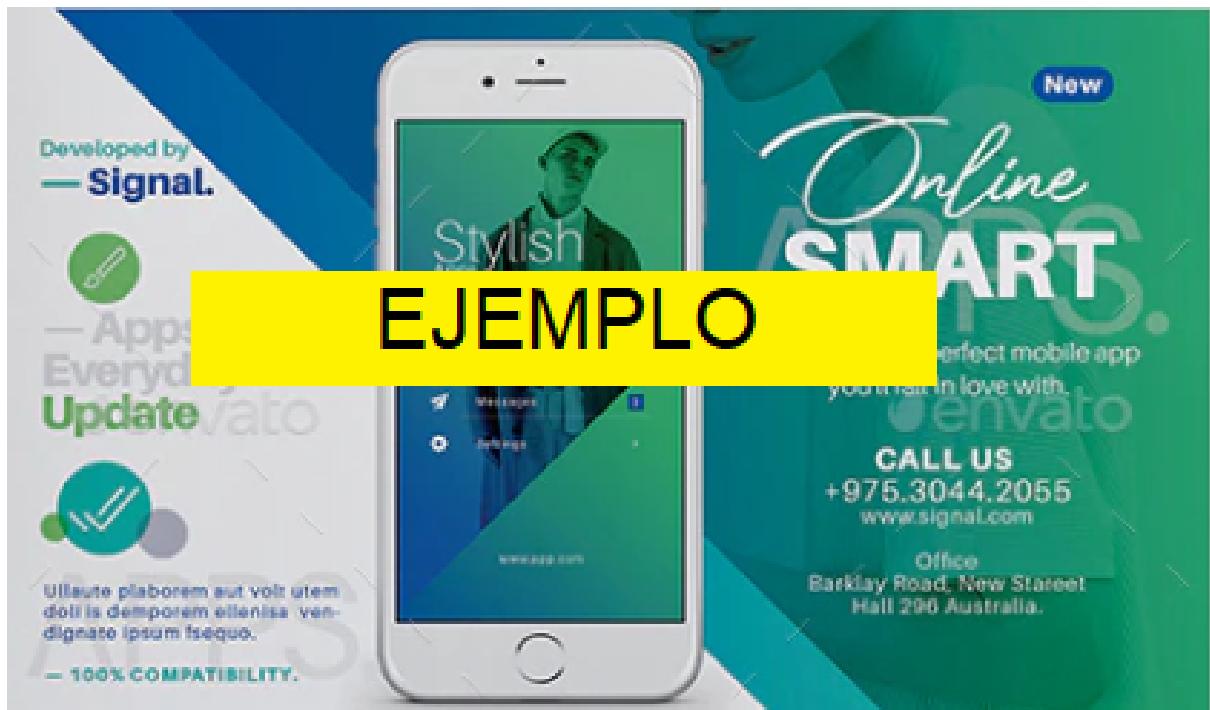


Fig. 2.27 – Aplicación móvil: inicio de sesión

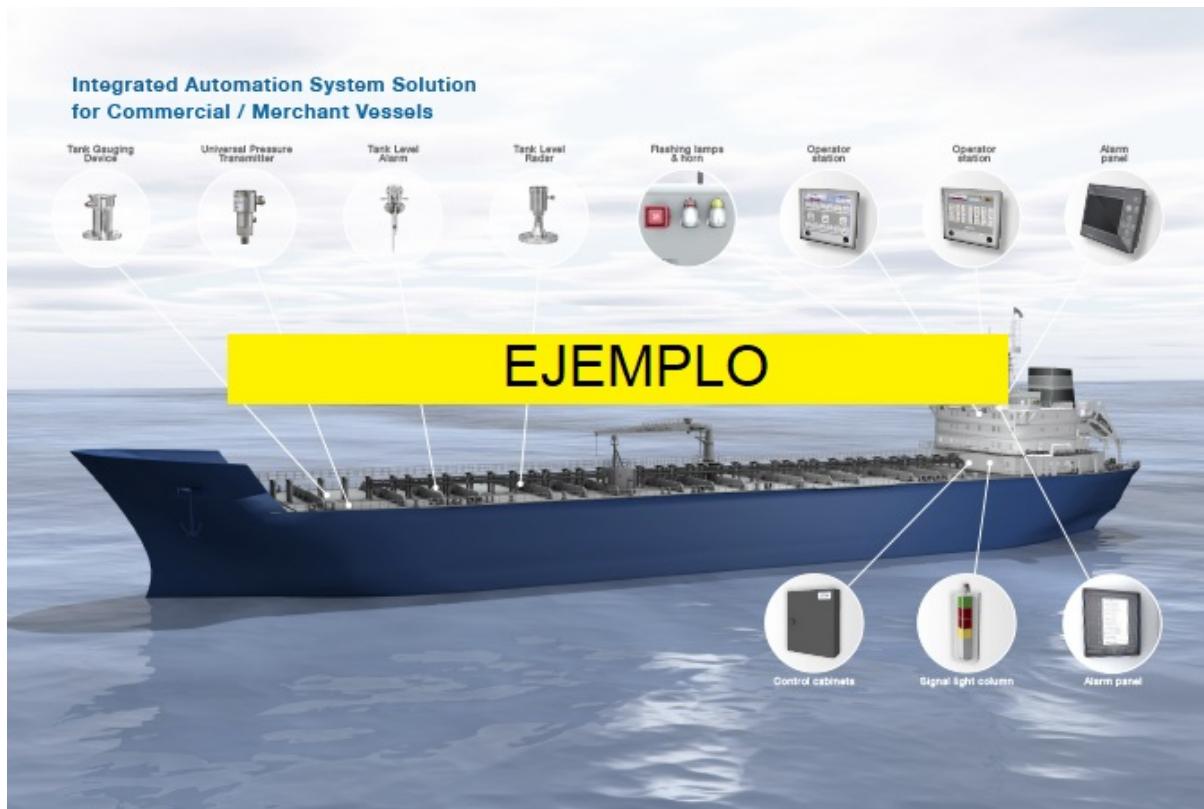
Fuente: Elaboración propia.

## 2.1.6 Subsistema de flotación

Luego de definir en las Secciones ??, 2.1.3, 2.1.4, y 2.1.5, la selección de los dispositivos y su interacción el sistema permiten calcular las dimensiones de la máquina para analizar la flotabilidad y seleccionar flotadores adecuados. En las siguientes subsecciones se analizan los cálculos, selección y diseño del sistema de flotación.

### 2.1.6.1 Cálculo de fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema

[BORRADOR] Explicar subsección e importancia [/BORRADOR]



**Fig. 2.28** – Fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema

Fuente: Elaboración propia.

[BORRADOR] Ecuaciones y resultados [/BORRADOR]

### 2.1.6.2 Selección de flotadores

[BORRADOR] Introducción [/BORRADOR]

**Tab. 2.25** – Tabla comparativa de flotadores.

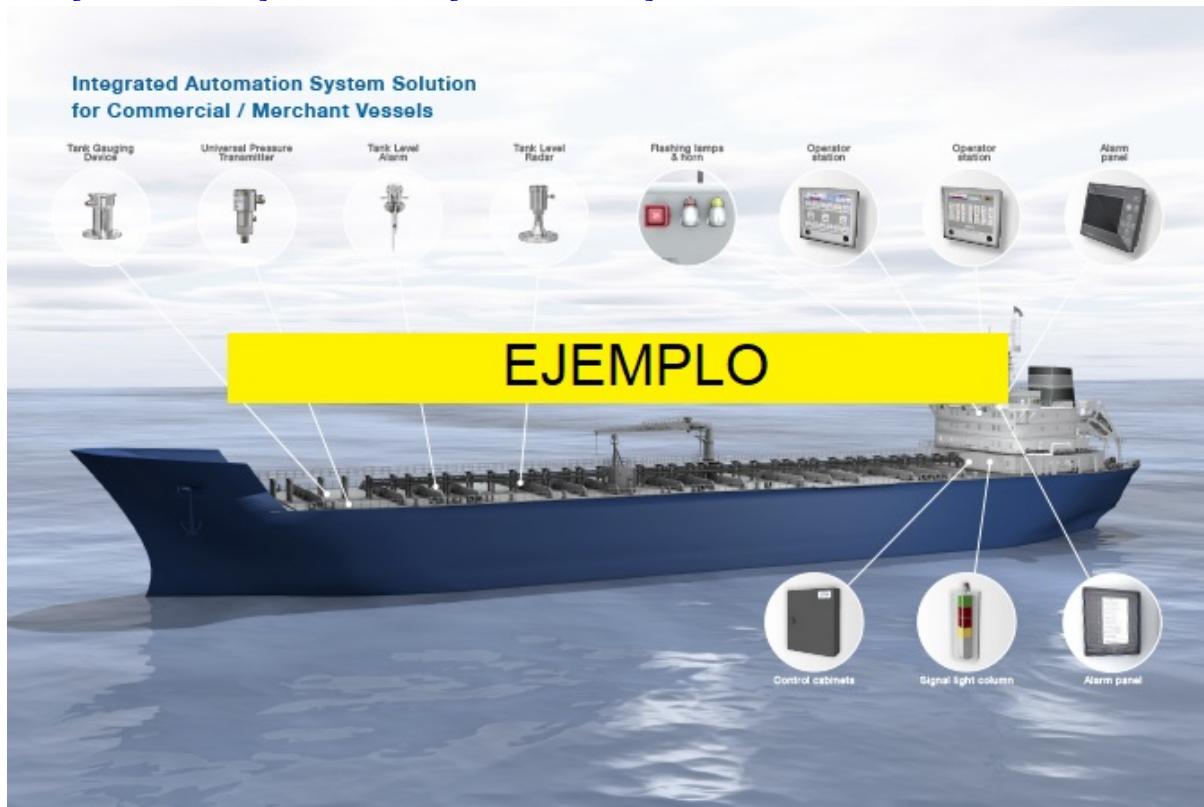
Requisitos mínimos	1	2	3	
<b>Figura</b>	-	EJEMPLO	EJEMPLO	EJEMPLO
<b>Concepto</b>	-	9	10	11
<b>Concepto</b>	-	9	10	11

Fuente: Elaboración propia.

[BORRADOR] Explicar selección [/BORRADOR]

### 2.1.6.3 Diseño de sistema de flotación

[BORRADOR] Introducción [/BORRADOR]



**Fig. 2.29** – Fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema

Fuente: Elaboración propia.

[BORRADOR] Comentario [/BORRADOR]

### 2.1.7 Planos del sistema

Los planos permiten visualizar el sistema de una forma en particular dependiendo del tipo de plano. En el presente trabajo optaremos por incluir dos tipos: planos de ensamble y planos de despiece.

#### 2.1.7.1 Lista de planos de ensamble

El plano de ensamble presenta una visión de los diferentes componentes, cómo son las juntas, incluye un listado de componentes y se proporcionan características técnicas como el

---

tipo de material y cantidad de componentes similares.<sup>31</sup> En la Tabla 2.26 se muestra una lista de planos de ensamble.

**Tab. 2.26 – Lista de planos de ensamble.**

Nº Lámina	Plano	Tamaño de página
<b>L1</b>	1	2
<b>L2</b>	3	4
<b>L3</b>	5	6
<b>L4</b>	7	8
<b>L5</b>	9	10
<b>L6</b>	11	12
<b>L7</b>	13	14

Fuente: Elaboración propia.

#### **2.1.7.2 Plano de despiece**

El plano de despiece presenta las características técnicas de cada pieza. Muestra dimensiones para poder fabricar la pieza. En la Tabla 2.27 se muestra una lista de planos de despiece de cada pieza.

**Tab. 2.27 – Lista de planos de despiece**

Nº	Nombre de pieza	Tamaño de página
<b>1</b>	1	2
<b>2</b>	3	4
<b>3</b>	5	6
<b>4</b>	7	8
<b>5</b>	9	10
<b>6</b>	11	12
<b>7</b>	13	14

Fuente: Elaboración propia.

---

31. Goetsch et al. (2010)

---

### **III Pruebas y resultados**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. [/BORRADOR]

#### **3.1 Algoritmos de conteo de truchas**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. [/BORRADOR]

##### **3.1.1 Criterios de evaluación**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. Dolor sit amet consectetur adipiscing elit ut aliquam purus sit. Dolor sed viverra ipsum nunc aliquet bibendum. Euismod in pellentesque massa placerat. Et malesuada fames ac turpis egestas sed tempus urna. Euismod elementum nisi quis eleifend quam adipiscing vitae proin. Ornare suspendisse sed nisi lacus sed. Mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Varius morbi enim nunc faucibus. Sit amet purus gravida quis blandit turpis cursus in hac.

---

[/BORRADOR]

### 3.1.2 Comparación

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. Dolor sit amet consectetur adipiscing elit ut aliquam purus sit. Dolor sed viverra ipsum nunc aliquet bibendum. Euismod in pellentesque massa placerat. Et malesuada fames ac turpis egestas sed tempus urna. Euismod elementum nisi quis eleifend quam adipiscing vitae proin. Ornare suspendisse sed nisi lacus sed. Mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Varius morbi enim nunc faucibus. Sit amet purus gravida quis blandit turpis cursus in hac.

[/BORRADOR]

### 3.1.3 Errores detectados en la simulación de conteo de truchas

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. Dolor sit amet consectetur adipiscing elit ut aliquam purus sit. Dolor sed viverra ipsum nunc aliquet bibendum. Euismod in pellentesque massa placerat. Et malesuada fames ac turpis egestas sed tempus urna. Euismod elementum nisi quis eleifend quam adipiscing vitae proin. Ornare suspendisse sed nisi lacus sed. Mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Varius morbi enim nunc faucibus. Sit amet purus gravida quis blandit turpis cursus in hac.

[/BORRADOR]

---

### **3.2 Simulación estructural**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. Dolor sit amet consectetur adipiscing elit ut aliquam purus sit. Dolor sed viverra ipsum nunc aliquet bibendum. Euismod in pellentesque massa placerat. Et malesuada fames ac turpis egestas sed tempus urna. Euismod elementum nisi quis eleifend quam adipiscing vitae proin. Ornare suspendisse sed nisi lacus sed. Mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Varius morbi enim nunc faucibus. Sit amet purus gravida quis blandit turpis cursus in hac.

[/BORRADOR]

### **3.3 Simulación dinámica del sistema**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. Dolor sit amet consectetur adipiscing elit ut aliquam purus sit. Dolor sed viverra ipsum nunc aliquet bibendum. Euismod in pellentesque massa placerat. Et malesuada fames ac turpis egestas sed tempus urna. Euismod elementum nisi quis eleifend quam adipiscing vitae proin. Ornare suspendisse sed nisi lacus sed. Mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Varius morbi enim nunc faucibus. Sit amet purus gravida quis blandit turpis cursus in hac.

[/BORRADOR]

---

## **IV Estimación de costos**

### **4.1 Costos de diseño**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. [/BORRADOR]

### **4.2 Costos de manufactura**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. [/BORRADOR]

### **4.3 Costos de componentes**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. [/BORRADOR]

---

#### **4.4 Costos de materiales**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. [/BORRADOR]

#### **4.5 Costos total del sistema**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. [/BORRADOR]

---

## Conclusiones

[BORRADOR] Se detectaron procesos críticos en la crianza de truchas y se seleccionó el proceso manual que disminuía la producción final generando pérdidas económicas: clasificación y conteo de truchas en la etapa de engorde (15 a 20 centímetros). [/BORRADOR]

[BORRADOR] Se elaboró la lista de requerimientos según una entrevista con personas dedicadas al cultivo de truchas. Se propuso tres conceptos de solución y se escogió uno de estos bajo un análisis técnico-económico. El concepto de solución óptimo cumple con todos los puntos de la lista de requerimientos. Además, se realizó el diagrama de operaciones necesario para mostrar el funcionamiento de la máquina. [/BORRADOR]

[BORRADOR] Para el análisis de estabilidad y flotabilidad sobre el agua del concepto de solución óptimo será necesario realizar cálculos y mediciones [/BORRADOR]

[BORRADOR] Una estimación simple sin detalle del concepto de solución óptimo muestra un costo menor comparado con el costo de una máquina que se comercializa internacionalmente. Además, el costo de operación disminuye debido a que se reduce el número de operarios de cuatro a solo uno. [/BORRADOR]

[BORRADOR] El trabajo presentado puede ser extrapolado para obtener conceptos de solución diseñados para otras tallas de truchas. [/BORRADOR]

---

## **Recomendaciones**

[BORRADOR] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. Dolor sit amet consectetur adipiscing elit ut aliquam purus sit. Dolor sed viverra ipsum nunc aliquet bibendum. Euismod in pellentesque massa placerat. Et malesuada fames ac turpis egestas sed tempus urna. Euismod elementum nisi quis eleifend quam adipiscing vitae proin. Ornare suspendisse sed nisi lacus sed. Mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Varius morbi enim nunc faucibus. Sit amet purus gravida quis blandit turpis cursus in hac. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. Dolor sit amet consectetur adipiscing elit ut aliquam purus sit. Dolor sed viverra ipsum nunc aliquet bibendum. Euismod in pellentesque massa placerat. Et malesuada fames ac turpis egestas sed tempus urna. Euismod elementum nisi quis eleifend quam adipiscing vitae proin. Ornare suspendisse sed nisi lacus sed. Mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Varius morbi enim nunc faucibus. Sit amet purus gravida quis blandit turpis cursus in hac. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Nunc aliquet bibendum enim facilisis gravida neque convallis a. Ut tellus elementum sagittis vitae et leo duis ut diam. Dolor sit amet consectetur adipiscing elit ut aliquam purus sit. Dolor sed viverra ipsum nunc aliquet

---

bibendum. Euismod in pellentesque massa placerat. Et malesuada fames ac turpis egestas sed tempus urna. Euismod elementum nisi quis eleifend quam adipiscing vitae proin. Ornare suspendisse sed nisi lacus sed. Mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Varius morbi enim nunc faucibus. Sit amet purus gravida quis blandit turpis cursus in hac. [/BORRADOR]

---

## Referencias

- Berins, M. L. (1991). *SPI Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry, Inc.* Springer. Retrieved from <https://www.springer.com/gp/book/9781461576068>
- Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). *YOLO v4.0: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2004.10934>
- Brydson, J. A. (1999). *Plastics Materials* (7th ed.). Butterworth Heinemann.
- Callister, W. D., Callister Jr., W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). *Materials Science and Engineering* (9th ed.). Willey. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-gb/Materials+Science+and+Engineering%2C+9th+Edition+SI+Version-p-9781118319222>
- Chinchay De La Cruz, C. E. (2010). *Estudio del mecanismo de falla de una leva de disco con seguidor de rodillo - ElectroPerú-S.A.* (Analysis, Universidad de Piura). Retrieved from [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1280/IME\\_144.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1280/IME_144.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Churchill, D., Jie, L., Thomas K.F., C., & Bob, F. (2016). *Mobile Learning Design: Theories and Application* (1st ed.; D. Churchill, L. Jie, C. Thomas K.F., & F. Bob, Eds.). Springer. Retrieved from <https://www.springer.com/gp/book/9789811000256> doi: 978-981-10-0025-6
- Díaz Vergara, P. (2020). *Diseño conceptual de clasificadora y contadora de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de 10 a 20 centímetros para la crianza de truchas en la Laguna de Paucarcocha* (Unpublished doctoral dissertation). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Díaz Vergara, P., Balvín, J., Vargas, J., Leiva, M., & Jara, J. (2019). *Diseño de una enmalladora automática para mosquiteros cuadrados con perfil de aluminio 25x25 cm.* (Tech. Rep.). Lima: Pontifia Universidad Católica del Perú. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/341600246\\_DISEÑO\\_DE\\_UNA\\_ENMALLADORA\\_AUTOMATICA\\_PARA\\_MOSQUITEROS\\_CUADRADOS\\_CON\\_PERFIL\\_DE\\_ALUMINIO\\_25X25\\_CM](https://www.researchgate.net/publication/341600246_DISEÑO_DE_UNA_ENMALLADORA_AUTOMATICA_PARA_MOSQUITEROS_CUADRADOS_CON_PERFIL_DE_ALUMINIO_25X25_CM)
- Fry, F. E. J., & Cox, E. T. (1970). A Relation of Size to Swimming Speed in Rainbow Trout. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. doi: 10.1139/f70-111
- Goetsch, D. E., S. Chalk, W., L. Rickman, R., & Nelson, J. (2010). *Technical Drawing and Engineering Communication* (6th ed.). Retrieved from <https://www.cengage.co.uk/books/9781428335837/>
- Harper, C. A. (2000). *Modern plastic handbook* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Hecht, E. (2017). *Optics: A Contemporary Approach to Optics with Practical Applications and New Focused Pedagogy, Global edition* (5th ed.). Pearson Higher Education. Retrieved from <https://www.pearson.com/uk/educators/higher-education-educators/program/Hecht-Optics-Global-Edition-5th-Edition/PGM1095066.html>
- Joekman, R. J. (2010). *Designing the obvious* (2nd ed.; W. Sharp, Ed.). New Riders Press.

- 
- Mahammed, M. A., Melhum, A. I., & Kochery, F. A. (2013). Object Distance Measurement by Stereo VISION. *2013 International Journal of Science and Applied Information Technology (IJSAIT)*.
- MakeItFrom. (2020). *Material Properties Database*. Retrieved 2020-09-22, from <https://www.makeitfrom.com/>
- Neil, T. (2012). *Mobile Design Pattern Gallery: UI Patterns for Mobile Applications* (1st ed.). O'Reilly.
- Oates, David W., Krings, Lisa M., Ditz, K. L. (1993). Field Manual for the Identification of Selected North American Freshwater Fish by Fillets and Scales. *Other Publications in Wildlife Management. Paper 13..*
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering Design* (3rd ed.). London: Springer London. Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/978-1-84628-319-2> doi: 10.1007/978-1-84628-319-2
- Prajyot Mainkar, S. G. (2019). *Google Flutter Mobile Development Quick Start Guide* (1st ed.).
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2017). YOLO v2.0: YOLO9000 - Better, Faster, Stronger. *CVPR 2017*, 9. Retrieved from <https://pjreddie.com/media/files/papers/YOLO9000.pdf> doi: 10.1142/9789812771728\_0012
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLO v3.0: An Incremental Improvement. *Tech report*.
- Redmon, J. S. D. R. G. A. F. (2016). YOLO: You Only Look Once - Unified, Real-Time Object Detection. *CVPR 2016*. doi: 10.1109/CVPR.2016.91
- Rice, E. (2018). *Stepper motor torque basics*. Retrieved from <https://www.controleng.com/articles/stepper-motor-torque-basics/>
- Simone, A. (2020). *Flutter Projects: A practical, project-based guide to building real-world crossplatform mobile applications and games* (1st ed.; M. Yusuf Imaratwale, Ed.). Packt Publishing. Retrieved from <https://www.packtpub.com/product/flutter-projects/9781838647773>
- Solawetz, J. (2020). *YOLO v5.0: How to Train A Custom Object Detection Model*. Retrieved from <https://towardsdatascience.com/how-to-train-a-custom-object-detection-model-with-yolo-v5-917e9ce13208>
- Zaarane, A., Slimani, I., Al Okaishi, W., Atouf, I., & Hamdoun, A. (2020). Distance measurement system for autonomous vehicles using stereo camera. *Array*. doi: 10.1016/j.array.2020.100016