

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

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE BACHILLER
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

AUTOR

Pablo Remigio Díaz Vergara

ASESOR

Ing. Pedro Moises Crisóstomo Romero

Lima, diciembre, 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>Capítulo 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>Capítulo 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 Diseño de 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	20

2.1.3	Diseño de subsistema de procesamiento de imágenes	26
2.1.3.1	Selección del sensor infrarrojo	27
2.1.3.2	Selección de cámaras	31
2.1.3.3	Selección de iluminación adecuada	37
2.1.3.4	Selección de LED de alta potencia	37
2.1.3.5	Selección de algoritmo de clasificación y conteo	38
2.1.4	Diseño de subsistema de control e interacción con el usuario	39
2.1.4.1	Selección de microprocesador	40
2.1.4.2	Selección de indicadores	42
2.1.4.3	Selección de interruptor de seguridad de apagado de emergencia	44
2.1.4.4	Selección de interruptor de suministro de energía	45
2.1.4.5	Control de los caudales de agua	46
2.1.4.6	Control de iluminación	47
2.1.4.7	Control de motor a pasos	48
2.1.4.8	Control de indicadores	48
2.1.4.9	Control de clasificación y conteo	49
2.1.4.10	Diseño frontend de la aplicación móvil	49
2.1.5	Diseño de subsistema de suministro de energía	50
2.1.5.1	Cálculo del consumo de energía del sistema	51
2.1.5.2	Selección de fuente de alimentación	52
2.1.5.3	Selección de convertidor de voltaje de conmutación	53
2.1.5.4	Diagrama esquemático	54
2.1.5.5	Diagrama de flujo	55
2.1.6	Diseño de subsistema de flotación	57
2.1.6.1	Cálculo de fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema	58
2.1.6.2	Selección de flotadores	59
2.1.6.3	Diseño de sistema de flotación	60
2.1.7	Planos del sistema	60
2.1.7.1	Lista de planos de ensamble	60
2.1.7.2	Plano de despiece	61
<i>Capítulo III.</i> — Pruebas y resultados		62
3.1	Algoritmos de conteo de truchas	62

3.1.1	Criterios de evaluación	62
3.1.2	Comparación	63
3.1.3	Errores detectados en la simulación de conteo de truchas	63
3.2	Simulación estructural	64
3.3	Simulación dinámica del sistema	64
<i>Capítulo IV. — Estimación de costos</i>	65	
4.1	Costos de diseño	65
4.2	Costos de manufactura	65
4.3	Costos de componentes	65
4.4	Costos de materiales	66
4.5	Costos total del sistema	66
<i>Conclusiones</i>	67	
<i>Recomendaciones</i>	68	
<i>Referencias</i>	70	

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	Subsistema de recepción, distribución y traslado de truchas	10
2.5	Cálculo de dimensiones y ángulo de la tolva	11
2.6	Ángulo de tolva vs aceleración en la trucha	12
2.7	Mecanismo de distribución de truchas	13
2.8	Conceptos de mecanismos de distribución de truchas	14
2.9	Mecanismo leva-seguidor	16
2.10	Engranajes del mecanismo de compuertas	16
2.11	Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de la compuerta	17
2.12	Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de la leva	18
2.13	Calculo de coeficiente de rozamiento usando diagrama de Moody.	22
2.14	Diagrama de tuberías.	23
2.15	Subsistema de procesamiento de imágenes	27
2.16	Posicionamiento del sensor infrarrojo	28
2.17	Análisis de posición de luz infrarroja	28
2.18	Cálculo de posición de luz infrarroja	29
2.19	Cálculo de distancia máxima de desviación de haz de luz en condiciones ideales.	29
2.20	Distancia entre juego de espejos y cámara estéreo	31
2.21	Cálculo de distancia apropiada para la cámara estéreo	32
2.22	Aproximación lineal de la relación entre peso y la velocidad de nado de truchas arcoíris	33

2.23 Diagrama esquemático y dependencia de la distancia del objeto seguido por una cámara estéreo.	34
2.24 Pruebas de medición con distintas distancias al objeto.	35
2.25 Opciones de posicionamiento de iluminación.	37
2.26 Subsistema de control e interacción con el usuario	40
2.27 Diagrama de control del caudal de agua.	47
2.28 Diagrama de control de la iluminación en el subsistema de procesamiento de imágenes.	47
2.29 Diagrama de control de los motores a pasos.	48
2.30 Diagrama de control de indicadores visuales y sonoros.	48
2.31 Diagrama de control de la clasificación y el conteo de truchas.	49
2.32 Aplicación móvil: inicio de sesión	50
2.33 Subsistema de suministro de energía	51
2.34 Diagrama esquemático del sistema	55
2.35 Diagrama de flujo principal	56
2.36 Diagrama de flujo principal	57
2.37 Subsistema de flotación	58
2.38 Fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema	59
2.39 Fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema	60

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	9
2.5	Tabla comparativa de conceptos de mecanismos.	15
2.6	Tabla comparativa de motores a pasos.	19
2.7	Tabla comparativa de motores a pasos.	20
2.8	Tabla comparativa de electroválvulas	25
2.9	Tabla comparativa de sensores de presión	26
2.10	Tabla comparativa de sensores infrarrojos.	30
2.11	Tabla comparativa de cámaras estéreo.	35
2.12	Tabla comparativa de cámaras.	36
2.13	Tabla comparativa de leds de alta potencia.	38
2.14	Tabla comparativa de algoritmos.	39
2.15	Pines necesarios en el microprocesador.	41
2.16	Tabla comparativa de microprocesadores.	41
2.17	Tabla comparativa de indicadores visuales.	43
2.18	Tabla comparativa de bocinas	44
2.19	Tabla comparativa de interruptor de seguridad de apagado de emergencia.	45
2.20	Tabla comparativa de interruptores de suministro de energía.	46
2.21	Tabla de consumo de energía del sistema por dispositivo.	52
2.22	Tabla comparativa de fuentes de alimentación.	53
2.23	Tabla comparativa de convertidor de voltaje de conmutación.	54
2.24	Tabla comparativa de flotadores.	59
2.25	Lista de planos de ensamble.	61

2.26 Lista de planos de despiece	61
--	----

Capítulo 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*¹. En la Figura 1.1 se muestra el bosquejo del concepto de solución óptimo como su virtualización.

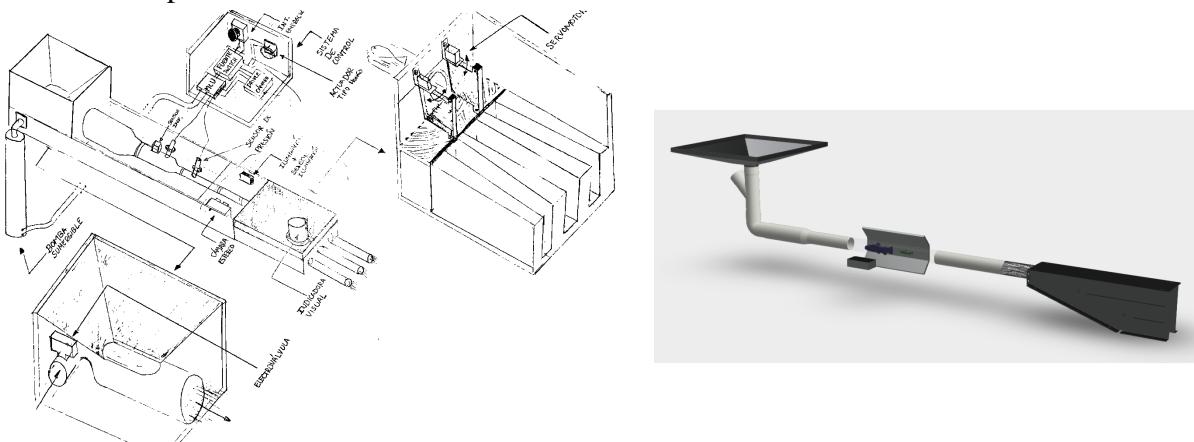


Fig. 1.1 – Dibujo del concepto óptimo

Fuente: Díaz Vergara (2020).

El desarrollo de ingeniería del concepto se realizó en el programa *Fusion 360*². Tanto los diseños como renders³ 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 (CCT) de 15 a 20 centímetros a partir del diseño conceptual previo⁴.

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 arte⁵.

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. Asimismo, 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. Díaz Vergara (2020)

5. Díaz Vergara (2020)

Capítulo II

Diseño mecatrónico integral

2.1 Desarrollo de diseño mecatrónico integral

En la sección llamada "*Desarrollo del diseño mecatrónico conceptual*"¹ se analizó el concepto de solución óptimo. 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.

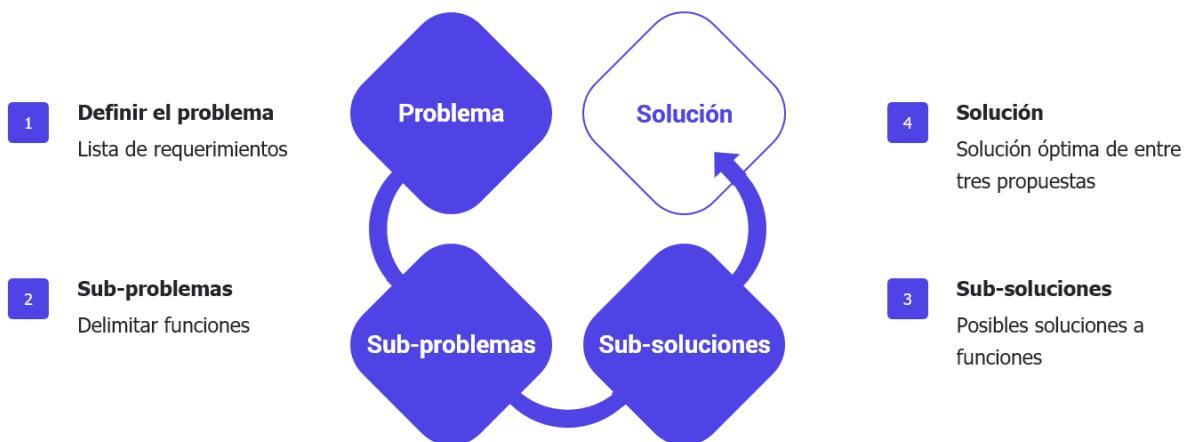


Fig. 2.1 – Estado de diseño mecatrónico: sub-soluciones

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)², también llamado diseño de ingeniería, que abarca diferentes puntos: dimensionamiento del sistema; cálculos; selección técnica de materiales entorno a su aplicación; selección técnica de

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

sensores; actuadores y dispositivos de control; lógica del control del sistema y su estrategia; planos mecánicos: ensamble y despiece; planos eléctricos y/o electrónicos; simulaciones de la máquina y una estimación de costos.

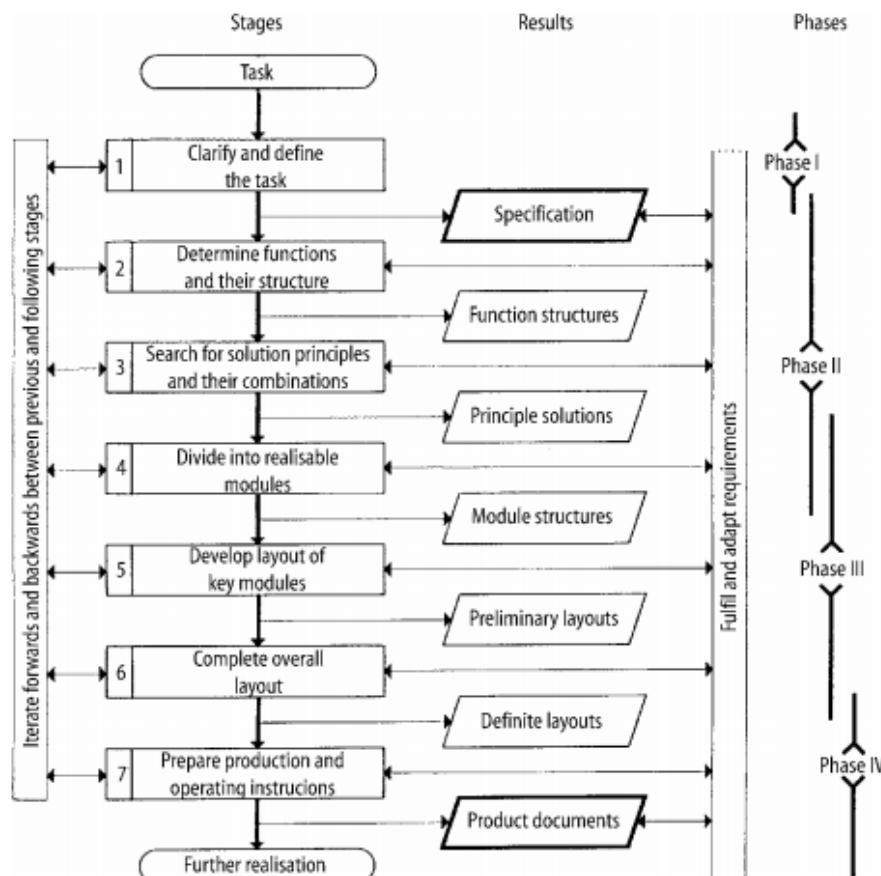


Fig. 2.2 – Fases de diseño según VDI 2221

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 proyecto³; remoción de la reja al inicio accionada por un motor debido al coste de implementación y reemplazo con un tapón de plástico; cambio de nombre del interruptor de tipo hongo a interruptor de suministro de energía.

La máquina clasificadora y contadora de truchas⁴, 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.⁵ La máquina se sitúa sobre el agua y es empleada por un operario, que se encarga de extraer truchas con una sacadera telescopica⁶. 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.

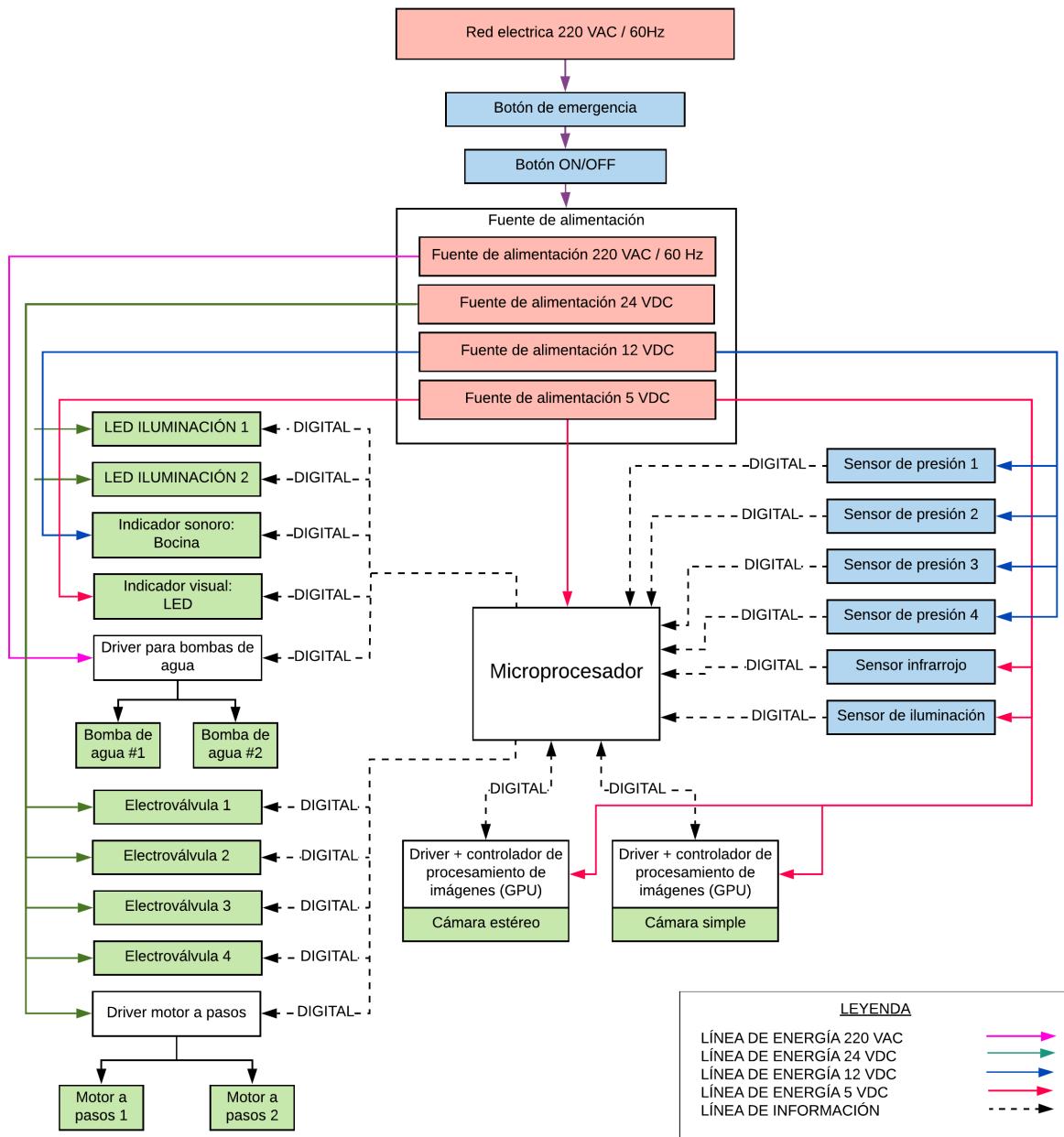


Fig. 2.3 – Arquitectura de hardware del sistema

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*"⁷. 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 (g/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 cuerpo que es trasladado por la tubería. En la Tabla 2.2 se compara técnicamente las propiedades mecánicas, térmicas y ópticas de tres materiales.

7. Díaz Vergara (2020).

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 transmitida (%)	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

Subsistema	Mecanismo	Material
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 24026-1:2020⁸ (Acrílico) (PMMA), Polietileno de alta densidad (HDPE), Acero Inoxidable 304, Aluminio 6061 (AL), Fluoruro de polivinilideno (PVDF).

Fuente: Elaboración propia.

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

2.1.2 Diseño de 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.



Fig. 2.4 – Subsistema de recepción, distribución y traslado de truchas

Fuente: Elaboración propia.

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 2.5 se analiza dicha situación con la finalidad de escoger un ángulo de elevación de la tolva (β) 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.

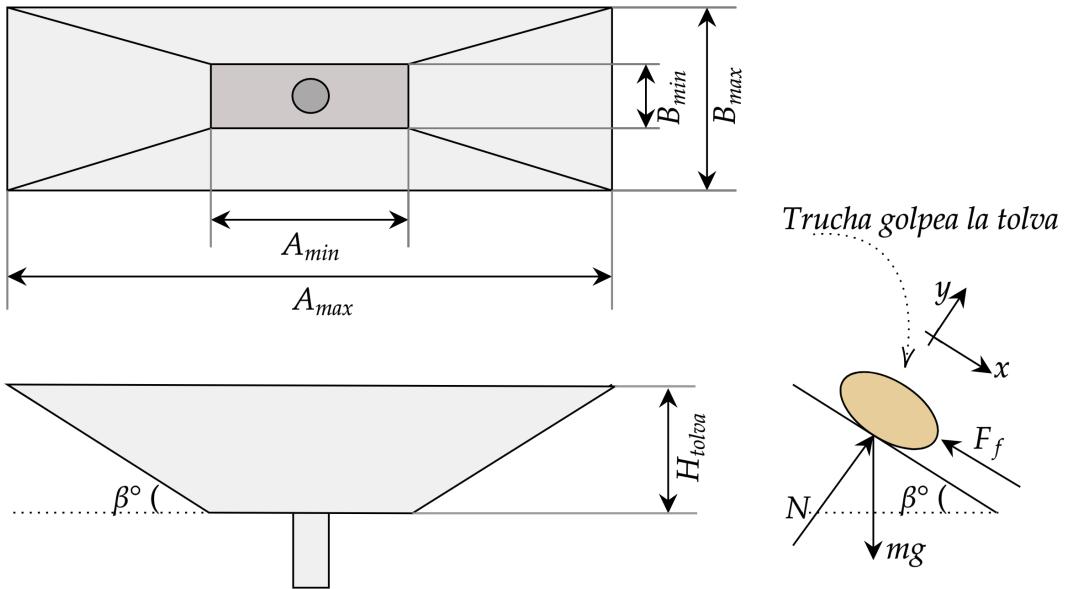


Fig. 2.5 – Cálculo de dimensiones y ángulo de la tolva

Fuente: Elaboración propia.

Parte de la Figura 2.5 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 2.6 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.

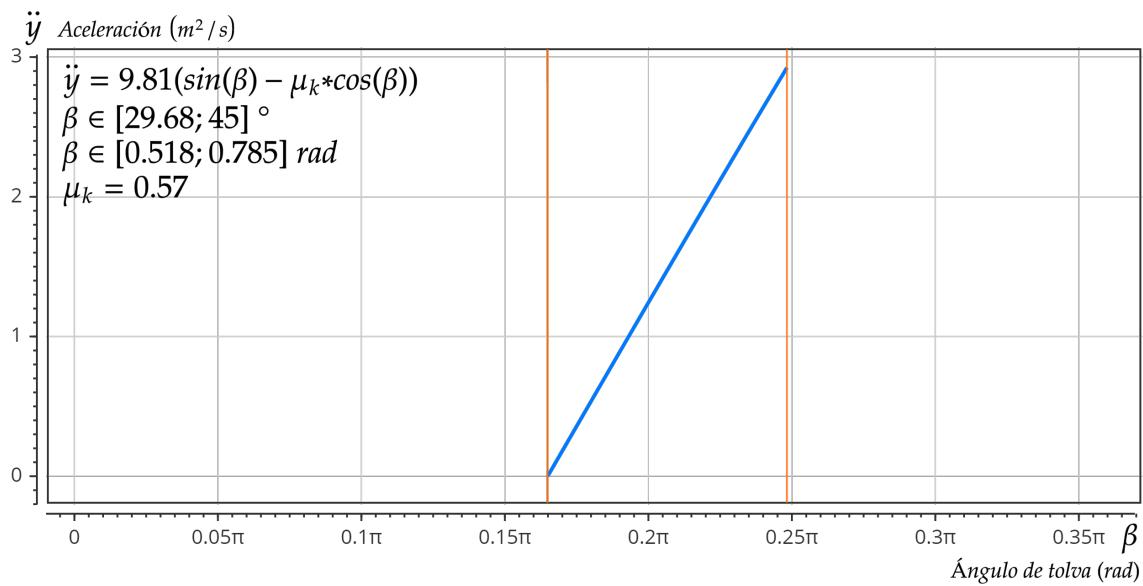


Fig. 2.6 – Ángulo de tolva vs aceleración en la trucha

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 2.7. 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.

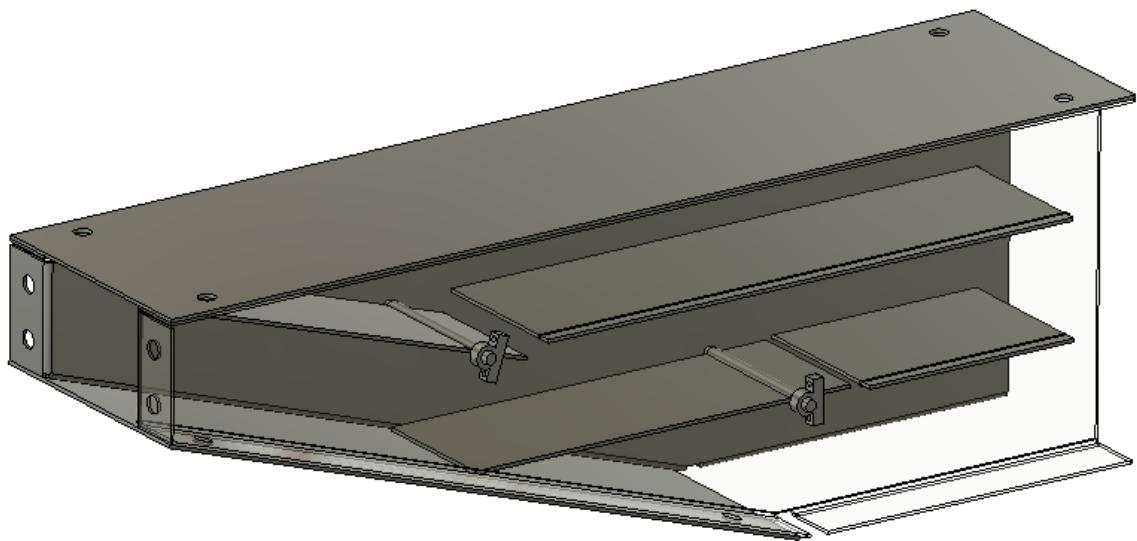


Fig. 2.7 – Mecanismo de distribución de truchas

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 2.8.

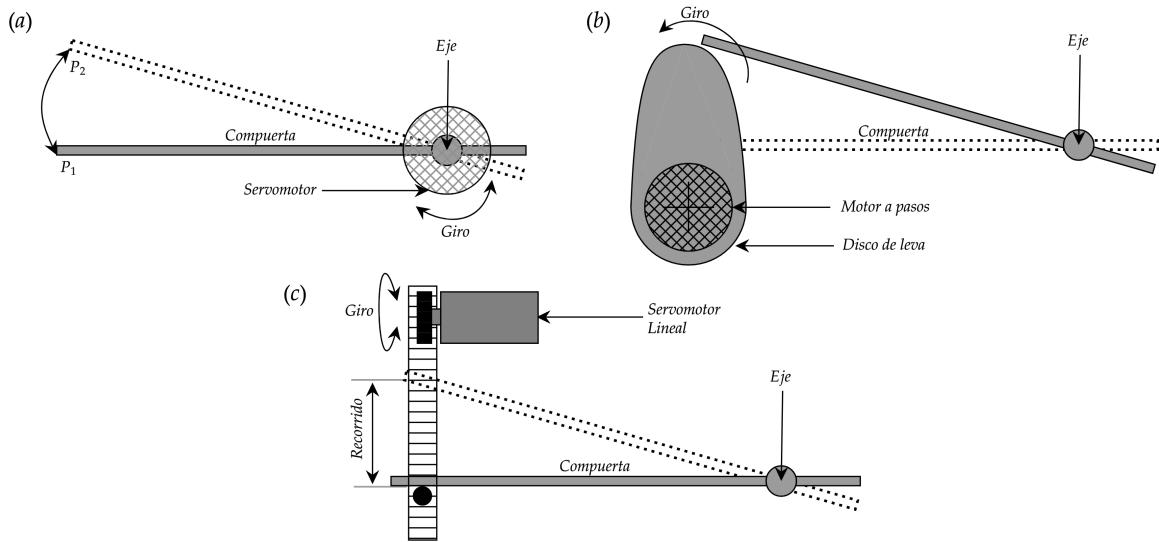


Fig. 2.8 – (a) Mecanismo de eje servomotor. **(b)** Mecanismo de tolva y seguidor. **(c)**

Mecanismo de servomotor lineal.

Fuente: Elaboración propia.

El mecanismo inicialmente propuesto (Figura 2.8-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 largo⁹ presenta un deterioro considerable en el eje del servomotor, por lo que se analiza un mecanismo de leva-seguidor (Figura 2.8-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.

	Requisitos mínimos	Servomotor de rotación posicional	Leva y seguidor	Servomotor lineal
Cantidad de sentidos de giro	1	2	1	2
Complejidad mecánica¹⁰	1	1	2	2
Disponibilidad en el mercado¹¹	-	Nacional	Internacional	Nacional
Torque máximo¹² (τ_{max})	-	$\approx m * g * d_{eje}$	$\approx m * g * d_{leva}/2$	$\approx m * g * d_{ser}/4$
Acoplamiento al sistema¹³	1	1	2	3
Actuador que genera ruido¹⁴	-	Servomotor rotatorio	Motor a pasos	Servomotor lineal

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 (2.9-b) y con ese fin se realiza un diagrama de cuerpo libre (2.9-a) que permite analizar las fuerzas sobre los cuerpos.

-
10. Basado en cantidad de componentes actuadores.
 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. Basado en cantidad de componentes adicionales necesarios para implementar.
 14. Componente que genera sonido.

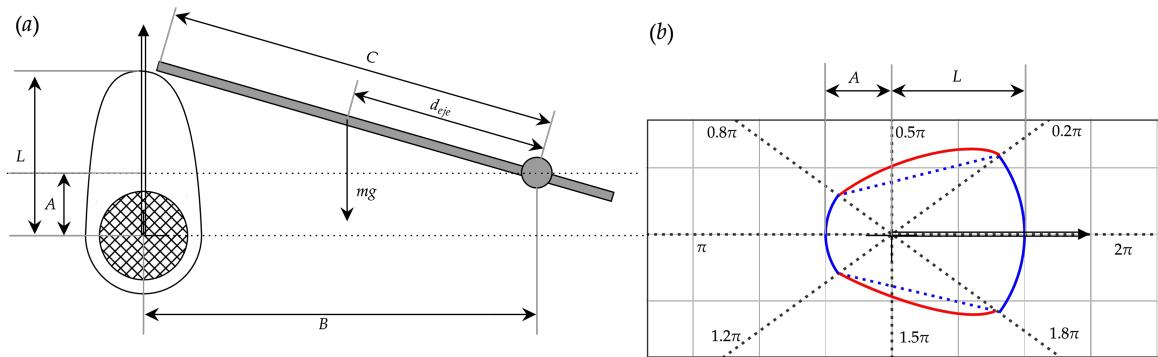


Fig. 2.9 – (a) Diagrama de cuerpo libre de mecanismo leva-seguidor. **(b)** Dimensiones del disco de leva.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño del disco de leva que se muestra en la Figura 2.9-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 2.10.

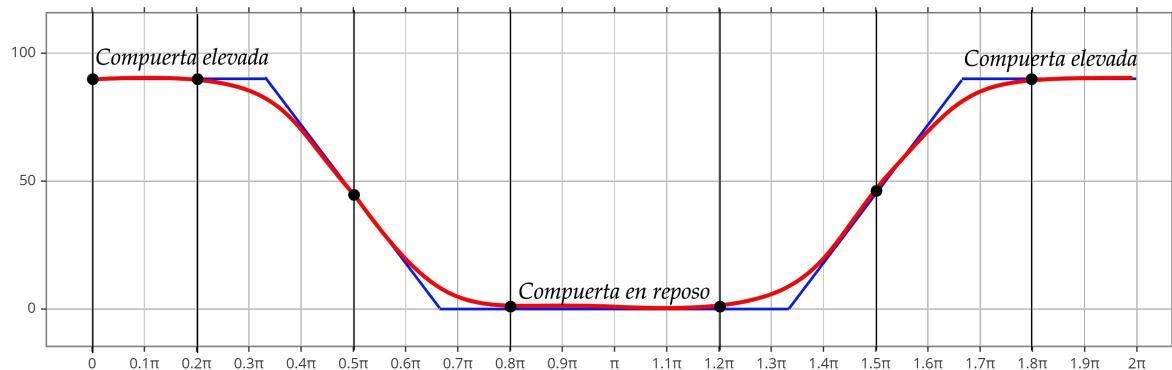


Fig. 2.10 – Engranajes del mecanismo de compuertas

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 2.11, 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 $[mg \text{ y } N]$ son fuerzas a la que están sometidas las cuerpos.

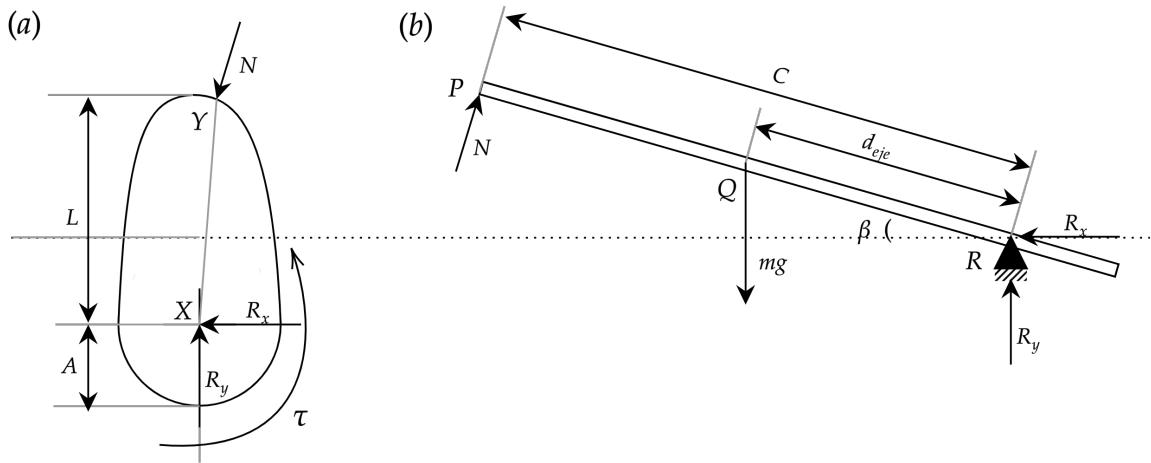


Fig. 2.11 – (a) DLC del disco de leva. (b) DLC de la compuerta.

Fuente: Elaboración propia.

Para hallar el valor de la fuerza N , en el DLC de la compuerta (Figura 2.11-b) se suma los momentos en el punto R como se expone en la Ecuación 2.4.

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

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

Luego, analizamos realizamos la sumatoria de momentos en el punto X en el DLC del disco de leva que se muestra en la Figura 2.12.

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

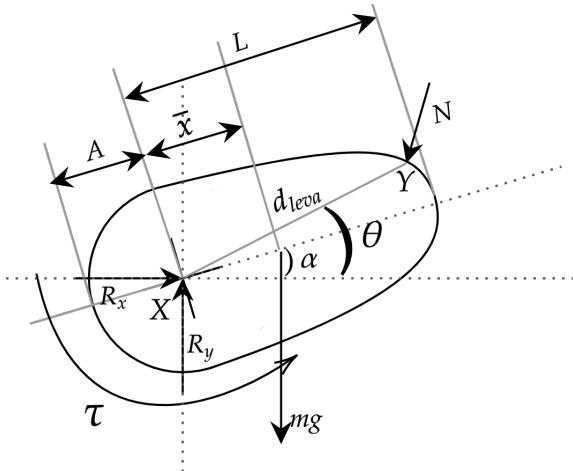


Fig. 2.12 – Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de la leva

Fuente: Elaboración propia.

$$\sum M_X = -m_{leva} * g * \bar{x} * \cos(\alpha) + \tau - N * d_{leva} * (\cos(\beta)\cos(\theta) - \sin(\beta)\sin(\theta)) = 0$$

$$\tau_{max} = m_{leva} * g * \bar{x} + N * d_{leva} \quad (2.5)$$

Dónde: \bar{x} es el centro de gravedad, asumiendo material uniforme, d_{leva} es la distancia del punto de apoyo X al punto de contacto con la compuerta Y, θ es el ángulo que forma el punto de contacto respecto al eje x, α es el ángulo que se forma del eje x al eje de simetría de la leva. Conocer el torque máximo (τ_{max}) delimita la selección de un motor a pasos a base del par de fuerza máximo generado.

$$\bar{x} = \left(\frac{2 * \sin(0.2 * \pi) * (L - A)}{\pi} + 2 * \frac{L * \cos(0.2 * \pi) - A * \cos(\pi)}{3} \right) / 4 \quad (2.6)$$

$$\bar{x} = 54.23$$

$$m_{leva} = V_L * \rho_L = 39111.24 * 7.8 / 1000 \quad (ANSI304 - e_L = 3mm) \quad (2.7)$$

$$m_{leva} = 305.06g = 0.305kg$$

$$m_{compuerta} = V_c * \rho_c = 41400 * 7.8 / 1000 \quad (ANSI304 - e_L = 1mm) \quad (2.8)$$

$$m_{compuerta} = 322.92g = 0.323kg$$

$$N_{max} = \frac{m_c * g}{2} \quad (\beta = 0^\circ) \quad (2.9)$$

$$N_{max} = \frac{0.323 * 9.8}{2} = 1.579$$

Reemplazando los valores de las Ecuaciones 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9 en la Ecuación 2.5 se obtiene el valor del torque máximo que es el mismo valor del par mínimo de fuerzas necesarias para seleccionar el motor a pasos. En la Ecuación 2.10 se calcula el valor del par de fuerzas.

$$\tau_{max} = 0.305 * 9.81 * 0.054 + 0.12 * 0.322 * 9.81 / 2 \quad (2.10)$$

$$\tau_{max} = 1.86 \quad Nm$$

• Selección de motores a paso

La selección de los motores a pasos depende se da acorde a los cálculos en las subsecciones anteriores, existe una gran variedad en cuanto a este tipo de dispositivos en el mercado internacional. 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	57J1880-450	Nema 34	ZL57HS09
Figura	-			
Fabricante	-	JMC	Jingbang	IM42EL-RS
Dimensiones (mm.)	-	57x57x80	86x86x67	50x50x100
Torque máximo (Nm)	1.86	2.2	2.4	2.8
Diámetro de eje (mm.)	-	8	[14; 16]	8
Peso (kg)	<2	1.2	-	1.5
Voltaje de alimentación (V)	24	Driver (24/48)	Driver (24/48)	24
Corriente de fase (A)	-	4	2	5
Temperatura operativa (°C)	-	-	[-20;60]	-
Inductancia de fase (mH)	-	1.8	≈9	2.0
Precio (S/)	-	78.98	53.85	150.24

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnica (*Datasheet*) en el Anexo.
Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

El modelo de motor a pasos del fabricante Jingbang, basado en Nema34 S/C, posee un torque de 2.4 que si bien es inferior a los 2.8 que ofrece el modelo ZL57HS09, este último triplica el precio del primero e es incluso menor que el modelo 57J1880-450, por lo que la relación *torque/precio* es mayor en el modelo escogido.

- **Selección de driver de motor a pasos**

Debido a las características únicas de cada servomotor, los fabricantes de cada marca recomiendan utilizar los drivers dedicados para sus componentes. Este trabajo no será la excepción, por lo que en la Tabla 2.7 se muestra el driver del motor escogido en la subsección anterior.

Tab. 2.7 – Tabla comparativa de motores a pasos.

DM860H	
Figura	
Fabricante	Jingbang
Modelo de driver	Nema 34
Pico de corriente (A)	7.2
Señal digital (V)	5/ 24
Voltaje de alimentación (V)	[24; 110]
Precio (S/)	71.8

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnica (*Datasheet*) en el Anexo.
Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

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**

Las tuberías por las que las truchas transitarán en un solo sentido deben satisfacer los requerimientos mínimos técnicos: diámetro no menor al alto o ancho de una trucha. En el *Estado del Arte*¹⁵, se observa que las truchas de 10 a 20 cm. tienen un alto máximo de 60 a 90 mm.¹⁶

- **Cálculo de caudales y selección de la bomba de agua**

En el diseño de las tuberías se toma en cuenta los siguientes parámetros: caudal necesario, viscosidad del fluido, presión operativa máxima, entre otros.¹⁷ Se requiere un flujo laminar en el subsistema de procesamiento de imágenes, es decir, en la sección con tubo transparente en el que se captura fotogramas sobre las truchas en tránsito. Sin embargo, debido a los requerimientos del sistema en cuanto al diámetro de tuberías, se optará por un flujo de tipo turbulento pero horizontal¹⁸. Entonces, para los valores de $D_{int} = 3.5'' = 88.9\text{mm}$ y $v = 210\text{cm/s}$ se calcula el número de Reynolds (Re) en la Ecuación 2.11.

$$Re = \frac{\rho * v * D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{999.7 * 2.1 * 0.0889}{0.001307} \quad (2.11)$$

$$Re = 142795.71 \approx 1.4 \times 10^5$$

Donde: ρ es la densidad del agua a 10 °C (kg/m^3), v es la velocidad del fluido (m/s), D_{int} es el diámetro interior de la tubería escogida (m), μ es la viscosidad dinámica del fluido a 10° C (N*s/m^2) y el número de Reynolds es adimensional. Luego, con $Re \approx 1.4 \times 10^5$ y sabiendo que la rugosidad de una tubería circular de PVC (ε) es 0.015mm . podemos calcular el valor de rugosidad relativa ($\varepsilon/d = 0.01687$) y el valor del coeficiente

-
15. Referencia de Díaz Vergara (2020).
 16. Distancia máxima entre aleta superior e inferior más alejada del cuerpo. En truchas de 30 cm. dicha distancia puede llegar hasta 135 mm.
 17. Extraído de INTECH GmbH (2020).
 18. Flujo de agua dentro de una tubería que abarca toda la sección y genera pequeñas burbujas de aire.

de rozamiento (λ) como se muestra en la Figura 2.13 empleando el diagrama de Moody.

Moody Diagram

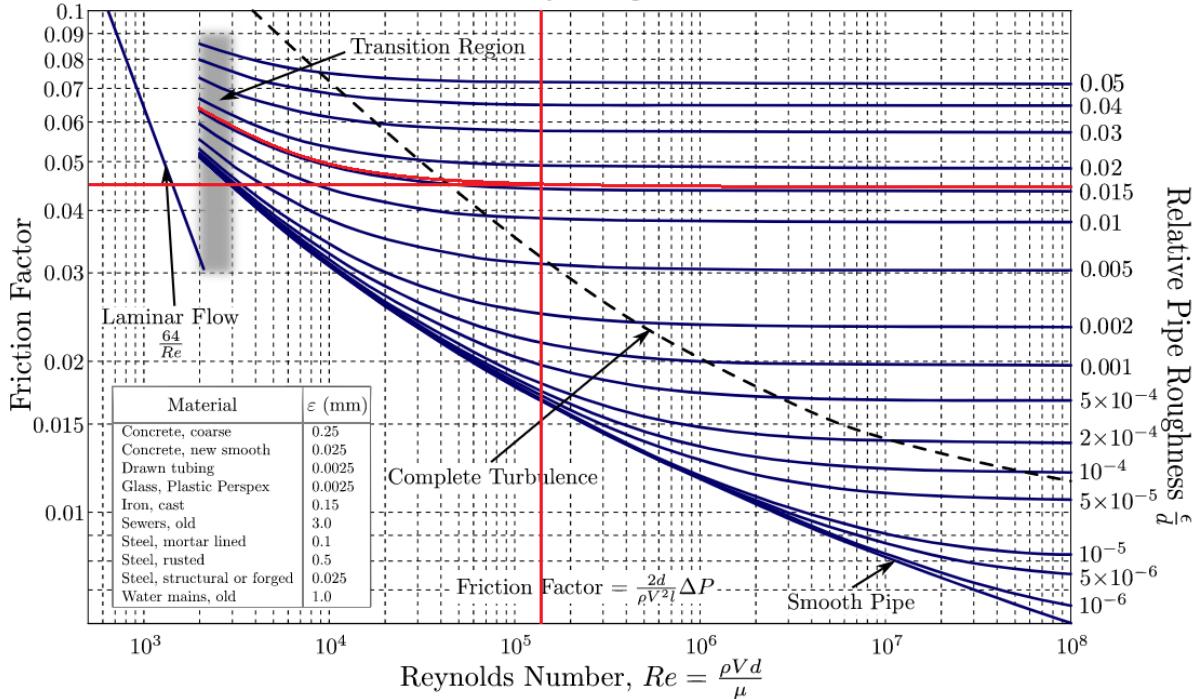


Fig. 2.13 – Calculo de coeficiente de rozamiento usando diagrama de Moody.

Fuente: Janna (2015).

Consecuentemente, el valor hallado para λ es ≈ 0.046 . Sin embargo, para flujos turbulentos se emplea la ecuación de Colebrook–White, con la cual podemos hallarla con mayor precisión como se muestra en la Ecuación 2.12.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log\left(\frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71 * d}\right) \quad (2.12)$$

El valor de λ es 0.0087. Con este valor, podemos calcular la presión operativa necesaria para el sistema, que garantice el funcionamiento de la tubería como es esperado. El diagrama mostrado en la Figura 2.14 expone un recorrido horizontal del agua en el sistema, por lo que en la Ecuación 2.13 se calcula el caudal requerido a la salida.

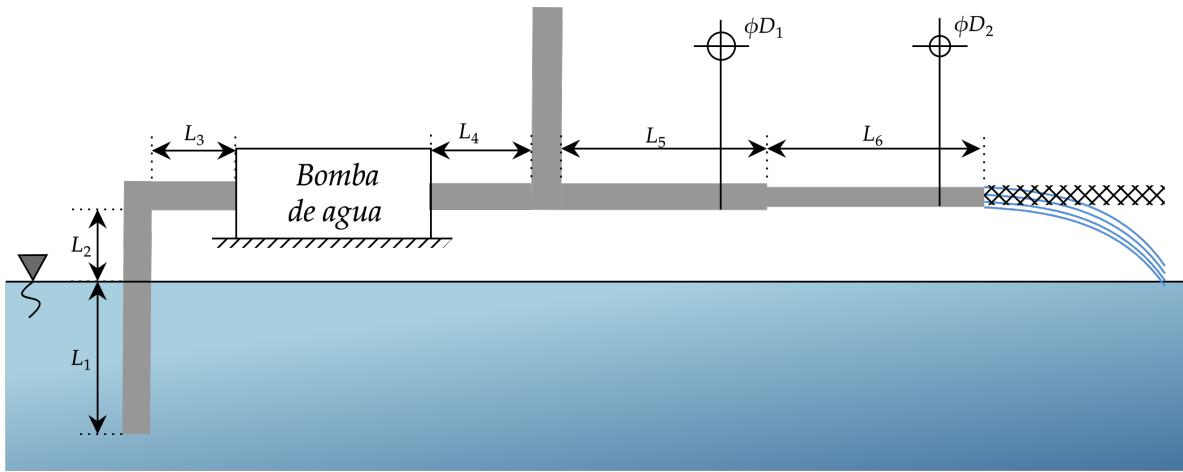


Fig. 2.14 – Diagrama de tuberías.

Fuente: Elaboración propia.

$$Q = A * v$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\pi * 0.0762^2}{4} * 2.1 \\ Q &= 0.00957 \text{ (m}^3/\text{s)} = 13.064 \text{ (L/s)} \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$Q_{req} = 15 \text{ (L/s)}$$

Dónde: Q es el caudal (m^3/s) que fluye sobre una tubería circular de área A (m^2) a una velocidad v (m/s). Luego, en la Ecuación 2.14 se calcula la pérdida de carga en la tubería horizontal.

$$h_L = h_{ma} + h_{me}$$

$$\begin{aligned} h_L &= f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} + K_{Lr} \frac{v^2}{2g} + K_{Lu} \frac{v^2}{2g} \\ h_L &= f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} + K_{Lr} \frac{v^2}{2g} + 0.42 \left(1 - \frac{D_2}{D_1}\right) \frac{v^2}{2g} \\ h_L &= 0.0087 \frac{2}{0.089} \frac{2.1^2}{2(9.81)} + 0.08 \frac{2.1^2}{2(9.81)} + 0.42 \left(1 - \frac{0.089}{0.076}\right) \frac{2.1^2}{2(9.81)} \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$h_L = 0.045 \text{ (m)}$$

Dónde: h_L es la pérdida de carga (m), h_{ma} es la representación de las pérdidas de carga mayores, h_{me} son las menores, f es el factor de fricción, l es la distancia horizontal (m),

D es el diámetro interior de la tubería (m), v es la velocidad media del líquido (m/s), g es la fuerza gravitacional (m/s^2) y K_{L_r} es el coeficiente de pérdida por unión y K_{L_r} es correspondiente a la reducción de diámetro. Entonces, la presión operativa puede ser calculada mediante la ecuación de Darcy–Weisbach como se muestra en la Ecuación 2.15.

$$\begin{aligned} p_b - p_s &= \rho g(z_2 - z_1) + \rho g h_L \\ p_b - 101.32 &= 441.31 \\ p_b &= 542.63 \text{ (kPa)} \\ p_b &\approx 550 \text{ (kPa)} \approx 80 \text{ (psi)} \end{aligned} \tag{2.15}$$

Al momento de seleccionar bombas de agua, en la industria se suele usar un valor dependiente de la presión operativa: la altura de succión positiva neta ($NPSH$) que se define y calcula en la Ecuación 2.16.

$$\begin{aligned} h_{NPSH} &= 2.31 * \frac{p_b}{SG} \\ h_{NPSH} &= 2.31 * \frac{80}{9.804} \\ h_{NPSH} &= 18.85 \text{ (m)} \\ h_{NPSH_{req}} &\approx 20 \text{ (m)} \approx 65 \text{ (ft)} \end{aligned} \tag{2.16}$$

Dónde: p_b es la presión operativa mínima requerida de la bomba de agua (kPa), SG es el peso específico (γ)(kN/m^3) del agua a 10 °C. Finalmente, se ingresa los requisitos mencionados al seleccionador de bombas de agua online de la empresa Hidrostal¹⁹: la empresa retorna un modelo de bomba de agua D03R-EHN con un motor DEYS4 que cumple con la certificación ISO 9906:2012 Grado 3B²⁰. Además, mencionar que el consumo de potencia es de 2.1 kW, trabaja a una velocidad de 1435 rpm con una eficiencia

-
- 19. Sitio web de seleccionador de bombas de agua: <https://www.hidrostal.com/pumpselector/>. Los grandes fabricantes suelen tener programas online para facilitar la selección de entre cientos de modelos.
 - 20. Más detalles en <https://www.iso.org/standard/41202.html>.
-

del 69.8% y que puede variar el caudal de 10 a 24 L/s.²¹

• Selección de las electroválvulas

Los valores límites que se tendrían que controlar mediante las electroválvulas pertenecen al rango [0; 15] (L/s). Las electroválvulas cumplen la función de controlar el actuador solenoide, mariposa o de globo de manera automática para regular el caudal de agua dentro de las tuberías del sistema. En la Tabla 2.8 se muestran algunos modelos comerciales que cumplen con estos requerimientos.

Tab. 2.8 – Tabla comparativa de electroválvulas

	Requisitos mínimos	2W	CTB010	400P
Figura	-			
Fabricante	-	Xhnotion	TF	AFK
Voltaje de alimentación (V)	24	24	12/24/48	24
Diámetro interno (in.)	-	Hasta 4	Hasta 7	Hasta 4
Líquidos	Aqua	Aire/Aqua/Aceite	Gas/Aqua	Aqua
Material	-	Latón	Plás./Ac. Inox./Hierro	Plás. + NBR
Tipo de conexión	-	Hembra	Hembra	Macho/Hembra
Presión máxima operativa (kPa)	550	-	4000	1400
Tipo	-	Solenoide	Mariposa	Solenoide
Certificados	-	ISO 9001:2008	-	-
Consumo de potencia (W)	-	2	23	-
Temperatura operativa (°C)	[-10; 40]	-	[-25; 60]	[-20 ; 43]
Peso aproximado (kg)	-	-	[2.5; 10]	-
Precio (S/)	-	244.12	287.20	642.61

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

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

Se escoge la válvula del fabricante Xhnotion modelo 2W debido a que si bien su diseño es más simple comparado con las alternativas, y usar Latón, cumple con el objetivo de regular la apertura de la compuerta que impide el paso de caudal de agua.

• Selección de sensores de presión

21. Hoja de datos (*Datasheet*) en el Anexo.

Los sensores de presión se usan para medir el caudal de forma indirecta y poder controlar la electroválvula. En la sección de control se explica a detalle este proceso. En la Tabla 2.9 se presenta una comparación técnica de los sensores de presión.

Tab. 2.9 – Tabla comparativa de sensores de presión

	Requisitos mínimos	FST800-211A	WNK80MA	T2000-191202
Figura	-			
Fabricante	-	FirstRate	WNK	LEFOO
Voltaje de alimentación (V)	12	[9; 30]	3.3/5/12/24	[10; 30]
Voltaje de salida (V)	-	[0.5; 4.5]	[1; 5]	[0; 10]
Corriente de salida (mA)	-	[4; 20]	[4; 20]	[4; 20]
Temperatura operativa (°C)	[-10; 40]	[-40; 85]	[-20; 85]	[-10 ; 80]
Protección (IP)	-	IP65	IP65	IP65
Certificados	-	CE RoHS	CE RoHS & ISO	ECM
Presión máxima (kPa)	550	[100; 60000]	[20; 25000]	[20; 25000]
Peso aproximado (kg)	-	0.1	0.1	-
Precio (S/)	-	78.98	43.08	89.75

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnica (*Datasheet*) en el Anexo.
Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

El sensor de presión WNK80MA de la empresa manufacturera WNK es escogido porque representa los requisitos mínimos a un menor precio, sin escatimar en características como nivel de protección, certificados y máxima presión que soporta el componente.

2.1.3 Diseño de 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.

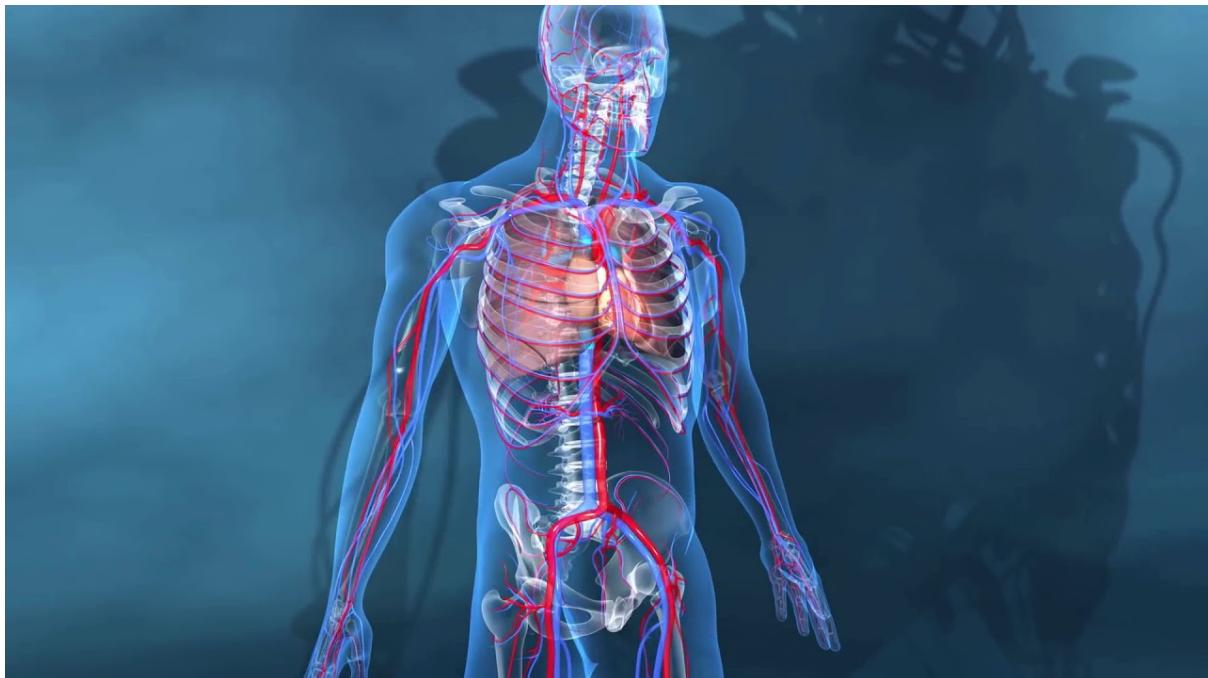


Fig. 2.15 – Subsistema de procesamiento de imágenes

Fuente: Elaboración propia.

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 2.16.

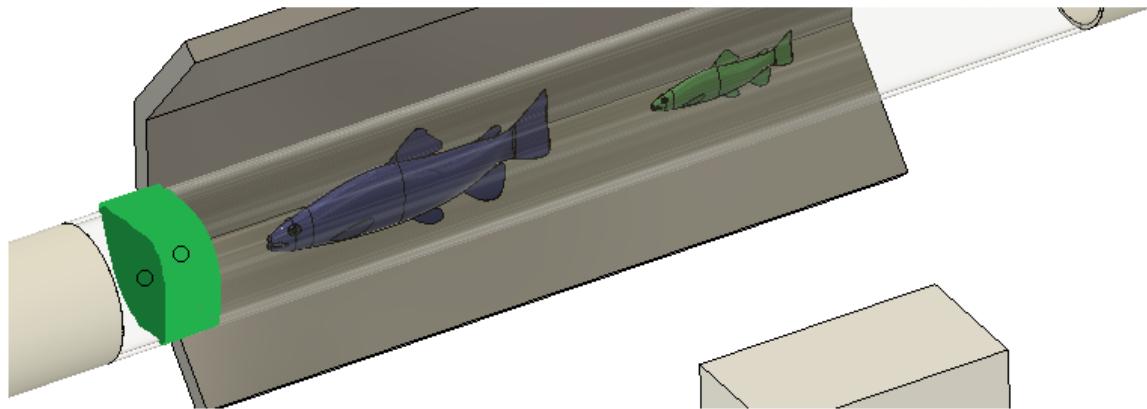
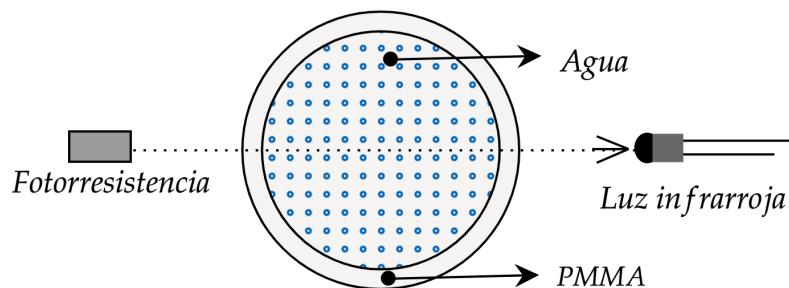


Fig. 2.16 – Posicionamiento del sensor infrarrojo

Fuente: Elaboración propia.

Ya que los haces de luz cambian de dirección debido a la refracción²², 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 2.17.



*Otros medios: aire

Fig. 2.17 – Análisis de posición de luz infrarroja

Fuente: Elaboración propia.

El problema se muestra en la Figura 2.18. Cabe mencionar que se conocen los siguientes valores $n_{PMMA} = 1.5^{23}$, $n_{aire} \approx 1$, $n_{agua} = 1.33^{24}$, $d_1 = d_2 = 10mm.$, $e = 3mm.$ y $d_{int} = 85mm.$, y se asume, para simplificar el problema, la emisión de la luz como proveniente de un punto único (S).

- 22. Hecht (2017).
- 23. Propiedades ópticas mostradas en la Tabla 2.2. Berins (1991)
- 24. Índices de refracción: Hecht (2017).

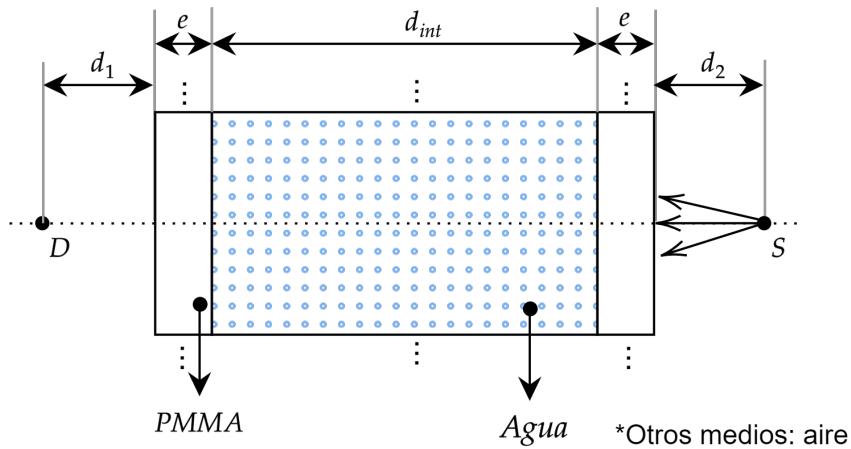


Fig. 2.18 – Cálculo de posición de luz infrarroja

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de desviación de los haces de luz se emplea la ley de refracción, matemáticamente mostrada en la Ecuación 2.17. Donde: θ_i es el ángulo de incidencia respecto a la normal del primer medio, θ_t es el ángulo de refracción respecto a la normal.

$$n_i * \sin(\theta_i) = n_t * \sin(\theta_t) \quad (2.17)$$

En la Figura 2.19 se analiza el caso crítico cuando $\theta_1 \approx 5^\circ$. Con la Ecuación 2.17 se puede calcular las distancias de desviación por refracción. Por ejemplo, En la Ecuación 2.18 el valor de h_x es la distancia proyectada: $h_x = d_x * \tan(\theta_x)$.

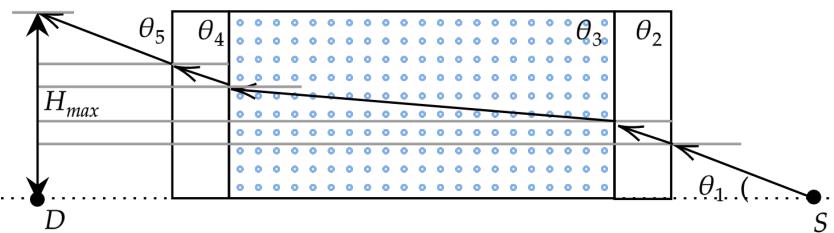


Fig. 2.19 – Cálculo de distancia máxima de desviación de haz de luz en condiciones ideales.

Fuente: Elaboración propia.

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

$$H_{max} = 10 * \tan(\theta_1) + 3 * \tan(\theta_2) + 85 * \tan(\theta_3) + 3 * \tan(\theta_4) + 10 * \tan(\theta_5) \quad (2.18)$$

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

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

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.²⁵ 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 2.10.

Tab. 2.10 – Tabla comparativa de sensores infrarrojos.

	Requisitos mínimos	HD-DS25 CM-3MM	QT50CM	GP2Y0A 21YK0F
Figura	-			
Fabricante	-	Adafruit	Adafruit	SHARP
Tipo de comunicación	-	[0;VCC]	[0;VCC]	Analógico
Área mínima circular de receptor (mm^2)	15.4	28.27	78.54	162.86
Ángulo de visión/recepción ($^\circ$)	5	10	10	-
Distancia de detección (mm.)	170	[0;250]	[0;500]	[100;800]
Longitud de onda infrarroja recomendada (nm)	850	-	-	870 ± 70
Voltaje operativo VCC (V)	5	[3.0;5.5]	[3.0;5.5]	[4.5;5.5]
Consumo de corriente (mA)	-	100	100	30
Temperatura operativa ($^\circ\text{C}$)	[-10;40]	[-25;60]	[-25;60]	[-10;60]
Precio (\$/)	-	7.00	23.32	53.68

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

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

De la Tabla 2.10 se visualiza que las principales diferencias de las alternativas se basan en el área de los actuadores infrarrojos del emisor y su sensado en el receptor, y la distancia

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

máxima que puede detectar. La distancia máxima a medir en el sistema, es el diámetro de la tubería que no es mayor a 4 in. ≈ 100 mm. adicional al mecanismo que los posicionará no debería exceder de los 170 mm.. Entonces, se escoge el modelo HD-DS25CM-3MM que cumple con estas características al menor precio.

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 2.20. Donde: d es la distancia entre el juego de espejos y la cámara, α es el HDFV²⁶, β es el VDFV²⁷, A es la altura del área proyectada y L es la largo del área proyectada del juego de espejos.

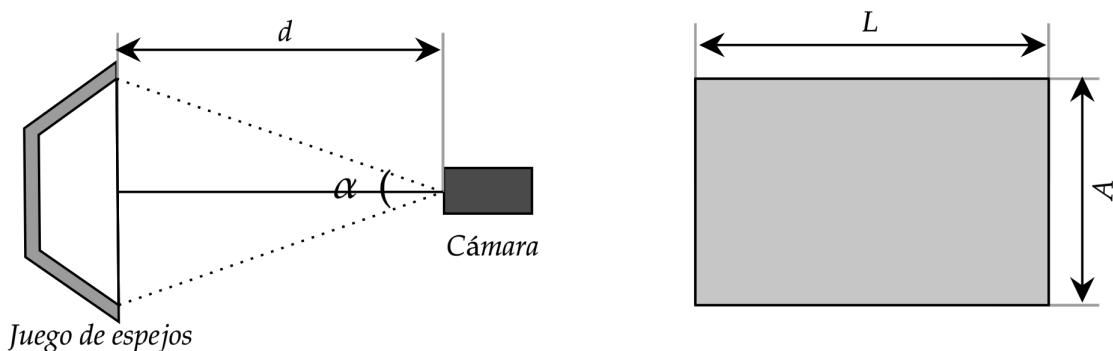


Fig. 2.20 – Distancia entre juego de espejos y cámara estéreo
Fuente: Elaboración propia.

De la geometría se obtiene los valores de α y β , que dependen de las otras variables. El posicionamiento de la cámara (d) estéreo estará sujeto a sus valores de HDFV y VDFV

26. Campo de visión horizontal.
27. Campo de visión vertical.

como se muestra en la Ecuación 2.20 y 2.19, respectivamente.

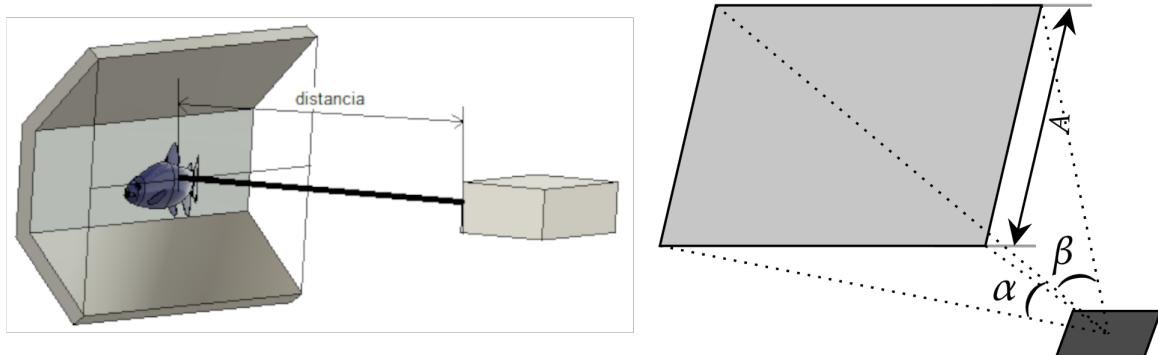


Fig. 2.21 – Cálculo de distancia apropiada para la cámara estéreo

Fuente: Elaboración propia.

$$\tan(\alpha_{min}/2) = \frac{A/2}{d} \quad (2.19)$$

$$\alpha_{min} = 2 * \text{atan}\left(\frac{A}{2*d}\right)$$

$$\tan(\beta_{min}/2) = \frac{L/2}{d} \quad (2.20)$$

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

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

Con el objetivo de calcular los cuadros por segundo necesarios, se muestra en la Figura 2.22 una aproximación lineal entre el peso (g) y la velocidad de nado (cm/s) de una trucha de la especie en cuestión. Dicho nado es contracorriente y de forma aleatoria, en el presente estudio se utiliza dicha información para simplificar el análisis²⁸.

28. Es necesario elaborar un estudio detallado de la velocidad de nado dentro de sistemas acorde al propuesto. El estudio Borisovich et al. (2016) asegura que se pudo capturar imágenes a 25 Hz de una tubería de 180 mm. de diámetro a una velocidad de 5-8 m/s

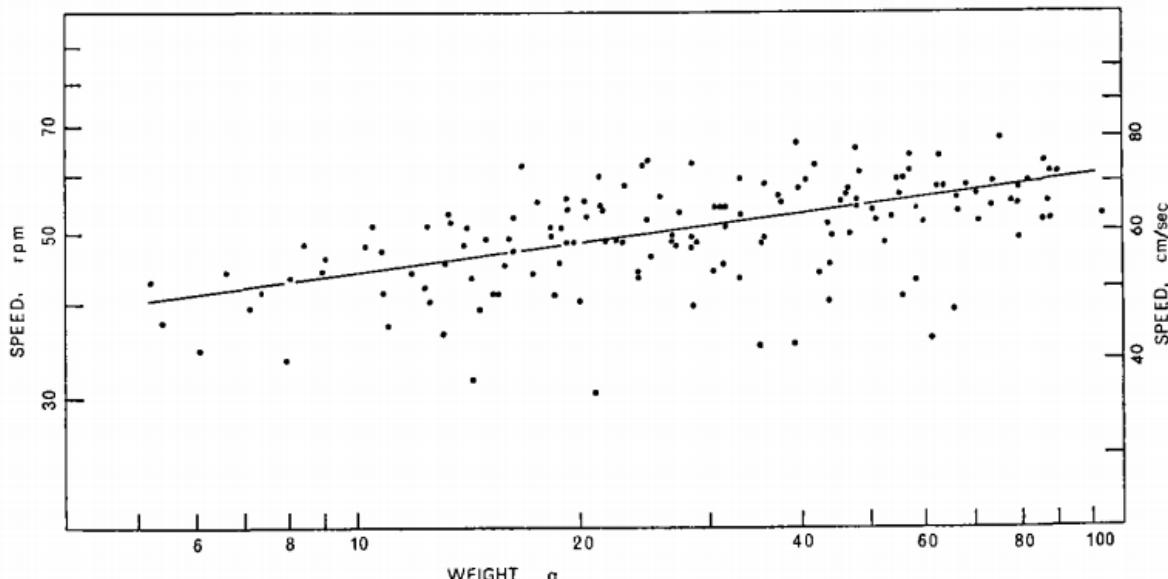


Fig. 2.22 – Aproximación lineal de la relación entre peso y la velocidad de nado de truchas arcoíris

Fuente: Fry & Cox (1970)

En la Ecuación 2.21 se muestra la relación (regresión lineal) entre X: *peso de la trucha* (g) e Y: *velocidad de nado* (cm/s) con un error Z= 0.033.

$$Y \approx 0.2828 * X + 48 \quad (2.21)$$

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*²⁹ 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 2.21 obtenemos los límites dentro del rango [91.26; 104.268](cm/s). Luego de escoger la máxima velocidad con redondeo hacia arriba $v_{max} = 105\text{cm/s}$) se duplica esta para que la trucha con nado a contracorriente sea desplazada a la velocidad máxima en dirección opuesta. Además, se analiza la cantidad de cuadros por segundo necesario: el recorrido entre un fotograma y otro debe ser menor o igual a dos centímetros. Se establece una distancia de un metro para la parte

29. Díaz Vergara (2020)

de visión y computadora por lo que la división de $1000/20$ da un valor de $fps_{min} = 50$. Entonces, se realizarán aproximadamente 50 capturas de fotogramas en un segundo.³⁰

• 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 2.23 se visualiza un diagrama referencial de una cámara estéreo, con la cuál podemos obtener distancias a partir de dos imágenes.

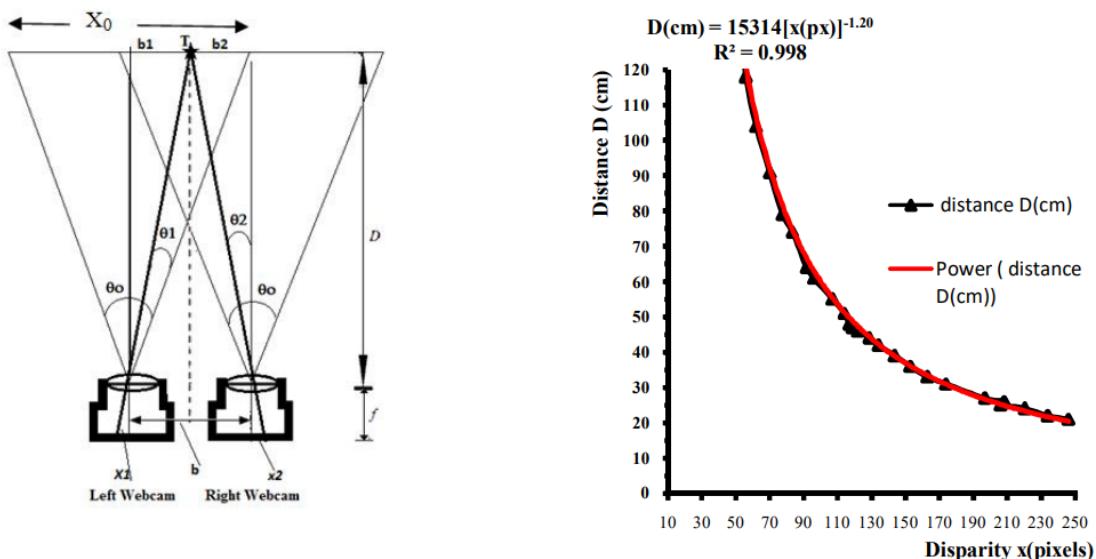


Fig. 2.23 – (Izq.) Diagrama esquemático de un objeto representado por dos cámaras alineadas horizontalmente separadas por una pequeña distancia. (Der.) Dependencia de la distancia del objeto en la disparidad.

Fuente: Mahammed et al. (2013)

En el campo de la acuicultura, ante la inexistente literatura sobre este tipo de estudios, se brinda un estudio similar de medición de vehículos autónomos brindado en Zaarane et al. (2020) (Figura 2.24) del que este estudio se guía para la obtención de distancias más

30. En dicha imagen pueden haber más de una trucha en tránsito.

cercanas a las reales con el uso de la profundidad gracias al sistema de cámara estéreo .

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	8,10	8,08	8,13	8,10
2	9,32	9,30	9,27	9,10	9,22	9,18	9,18	9,21	9,15
3	18,20	18,41	18,37	18,40	18,32	18,32	18,29	18,27	18,34
4	12,30	12,28	12,34	12,33	12,35	12,39	12,38	12,37	12,38
5	5,15	5,11	5,32	5,28	5,14	5,22	5,23	5,23	5,20
6	22,96	22,56	22,66	22,81	22,78	22,73	22,73	22,66	22,70
7	13,89	13,93	14,09	14,06	13,96	13,98	14,03	14,04	14
8	15,21	15,20	15,26	15,24	15,33	15,28	15,31	15,30	15,30
9	17,16	16,96	17,11	17,11	16,99	17,06	17,03	17,02	17,05

Fig. 2.24 – Pruebas de medición con distintas distancias al objeto.

Fuente: Zaarane et al. (2020)

En la Tabla 2.11 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. 2.11 – Tabla comparativa de cámaras estéreo.

	Requisitos mínimos	OAK-D	B0263	B0204
Figura	-			
Fabricante	-	OpenCV	ArduCam	ArduCam
Sensor óptico	-	OV9282	OV9281	OV2311
Año de fabricación	-	2020	2020	2019
Tipo de obturador	Global	Global sincronizado	Global sincronizado	Global dual
Escala de colores	-	B/N HDR	B/N	B/N
Resolución	0.5MP	1IMP (1280x 800 px/3μm)	1IMP (1280x 800 px/3μm)	2MP (1600x 1300 px/3μm)
Frames por segundo (FPS)	50	120	60	60
Tamaño de lente (")	Independiente	1/2.3	1/4	1/2.9
Enfoque (mm.)	-	[196;∞]	[30;∞]	[30;∞]
Campo de visión ° (HFDV,VFDV,DFDV)³¹	Adaptable	71.8, -, 81.0	70, 52.1, -	100, 68.2, -
Procesamiento gráfico	-	MA2085 VPU ³²	Jetson Nano o Xavier NX	Raspberry Pi 3
Temperatura operativa	[-10;50]	[-30;60]	[-30;85]	[-30;85]
Soporte IA³³	-	Sí	Sí	No
Consumo de energía (W)	<10	≈ 4	-	-
Precio (S/)	<1000	475.41	358.97	717.28

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

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

31. HFDV: Campo de visión horizontal. VFDV: Campo de visión vertical. DFDV: Campo de visión diagonal
32. Movidius™ Myriad™ VPU. Enlace a unidad de procesamiento de visión.
33. Chips diseñados y optimizados para procesar detección de objetos mediante redes neuronales.

La cámara escogida es la OAK-D debido a que cuenta con un sistema de obturación Global sincronizado³⁴, aunque el requerimiento mínimo de cuadros por segundo es de 50, en la práctica se requiere que el sistema no trabaje a sus máxima capacidad y el aporte que brinda el procesamiento en el mismo dispositivo que evita sobrecargar el servidor.

• 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 técnicos se presentan en la Tabla 2.12 así como las principales características de cada una.

Tab. 2.12 – Tabla comparativa de cámaras.

	Requisitos mínimos	B0249	Alvium 1800 U-500m	OAK-1
Figura	-			
Fabricante	-	ArduCam	Allied Vision	ArduCam
Sensor óptico	-	IMX477	ON Semi AR0521SR	IMX378
Año de fabricación	-	2020	2019	2020
Tipo de obturador	-	Global	Rolling	Global
Escala de colores	-	RGB	B/N	RGB
Resolución	0.5MP	12.3MP (4056x3040 px/1.55μm)	5MP (2592x 1944 px/2.2μm)	12MP (4056x3040 px/1.55μm)
Frames por segundo (FPS)	40	60	67	60
Tamaño de lente (")	Independiente	1/2.3	1/2.5	1/2.3
Campo de visión ° (HF DV, VF DV, DF DV)³⁵	Adaptable	65.0, -, -	-	71.8, -, 81.0
Procesamiento gráfico	-	Jetson Nano o Xavier NX	Jetson Nano o Xavier NX	MA2085 VPU ³⁶
Temperatura operativa	[-10;50]	[-20;60]	[5;80]	[-30;60]
Consumo de energía (W)	<5	-	[≈2.2;≈2.4]	≈2
Precio (S/)	<500	196.81	595.7	355.41

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

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

34. Superior al sincronizado dual para la tarea en el sistema.

35. HF DV: Campo de visión horizontal. VF DV: Campo de visión vertical. DF DV: Campo de visión diagonal

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

La cámara simple escogida es OAK-1 debido a que presenta un tipo de obturador global, un campo de visión mayor a las demás, un procesador gráfico especializado en imágenes y un menor consumo de potencia comparado con las otras opciones.

2.1.3.3 Selección de iluminación adecuada

La captura de imágenes con los sensores IMX378 y OV9282 están diseñados para ser usados en interiores como en exteriores. Sin embargo, la velocidad de obturación de un cuadro de imagen varía dependiendo de la luz que recibe el sensor. Con el fin de minimizar los riesgos, el control de la luz será parte del sistema y el subsistema correspondiente aislado de la luz natural. La luz artificial controlada por el microprocesador escogido. Además, será necesario una iluminación mínima de 500 luxes ($I_{min} = 500$).³⁷

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 2.25 se muestra las opciones de iluminación que se consideraron, resultando el uso de dos tiras de LEDs adecuadas para el sistema debido a la distribución uniforme de luz.³⁸

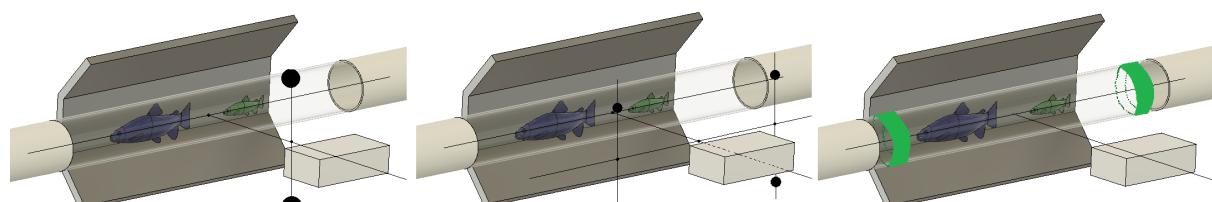


Fig. 2.25 –(Izq.) Iluminación con dos LEDs frente al sistema. (Cen.) Iluminación con cuatro LEDs frente al sistema. (Der.) Iluminación con dos tiras LEDs.

Fuente: Elaboración propia.

37. Selección de iluminación: Ryer (1997).

38. Se requieren más estudios con el proyecto final para obtener de forma definitiva un diseño. La propuesta no pretende ser la solución óptima sino una adecuada acorde a los requerimientos del sistema en cuestión.

En la Tabla 2.13 se muestra una tabla técnica comparativa de tres opciones de tiras de leds de alta potencia, ya que de esta forma se presentan comercialmente. En dicha Tabla, se observa que la presentación (*m.*) varía según la marca.

Tab. 2.13 – Tabla comparativa de leds de alta potencia.

	Requisitos mínimos	JED-LS12V/ T20/ 120/ 5	PSH601A/ PSH602A	PSB602Z
Figura	-			
Fabricante	-	JEDVER	NICHIA	PERFECT
Potencia de LED (W/m)	-	9.6	14.4	18
Temperatura operativa (°C)	[-10; 40]	[-20; 50]	[-20; 45]	[-20; 45]
Eficacia luminosa (lm/W)	>70	80	-	75
Flujo luminoso por metro (lm/m)	>500	10.2	20	60-65
Material principal	-	FPC	Cobre	Cobre
Fuente de luz LED	-	SMD2016	SMD5050	SMD3030
Nivel de protección (IP)	-	[IP20; IP65]	[IP20; IP68]	[IP20; IP68]
Voltaje de consumo (V)	-	12/24	12/24	24
Cantidad de leds (LEDs/m)	-	60	60	60
Temperatura de color (K)	-	[2700; 6500]	[2700; 6000]	[2700; 6500]
Tiempo de vida útil (h)	>10000	50000	35000	30000
Presentación comercial (m)	-	50	10	20
Precio por metro (S/)	-	3.95	17.23	26.93

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

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

El modelo escogido es el PSH6012A ya que tiene una presentación menor y cumple con el flujo luminoso, además de presentar protección al agua (IP68) y aunque el consumo de potencia es mayor, tiene un menor costo comparado con la adquisición de otras marcas. Finalmente, mencionar que el precio total sería de S/ 170.23, aunque se puede adquirir por metros en el comercio nacional.

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

Tab. 2.14 – 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 Diseño de 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.

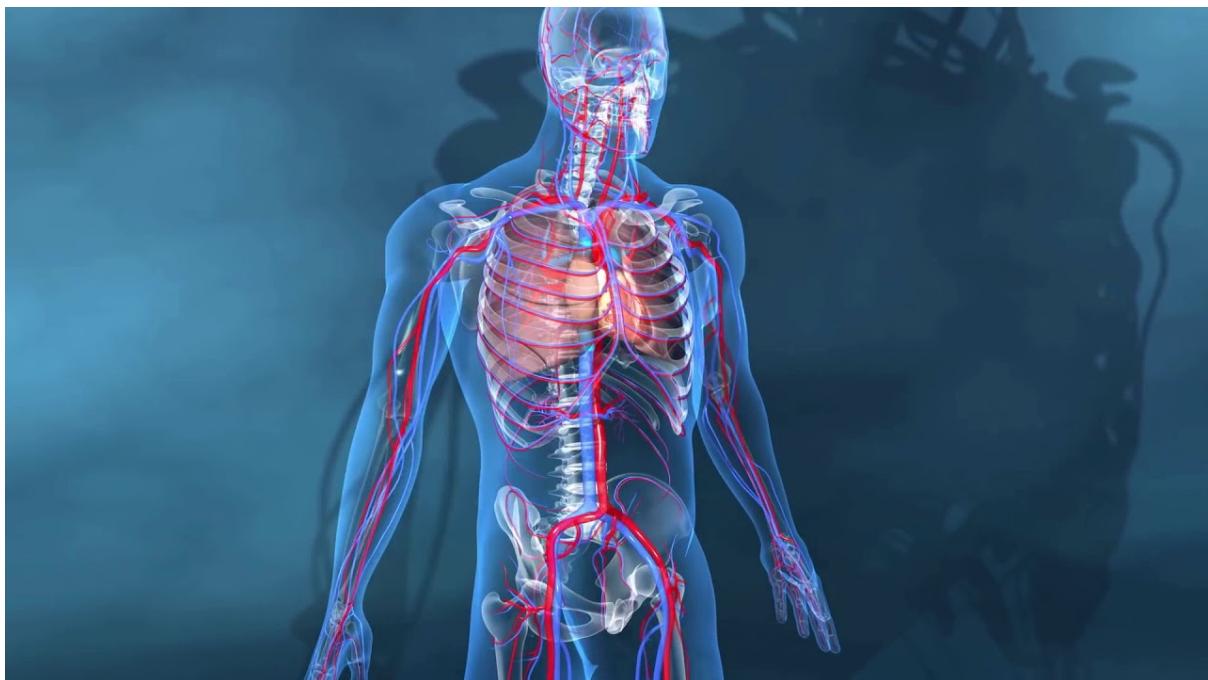


Fig. 2.26 – Subsistema de control e interacción con el usuario

Fuente: Elaboración propia.

2.1.4.1 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 mencionados³⁹, 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 2.15.

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

Tab. 2.15 – Pines necesarios en el microprocesador.

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

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2.16 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, entre otros.

Tab. 2.16 – Tabla comparativa de microprocesadores.

	Requisitos mínimos	Raspberry Pi 4 B	ASUS Tinker Board S	Helios64
Figura	-			
Fabricante	-	Raspberry	ASUS	Kobol
CPU	0.5 Ghz	ARM Cortex A72@ 1.5 GHz	Quad-Core RK3288	ARM 64-bit Hexacore
Pines GPIO	20	40	28	20
Conexiones USB	2xUSB 3.0	2xUSB2.0 y 2xUSB3.0	2xUSB3.0	3xUSB3.0
Conexión a Internet	WiFi 2.4Ghz	Ethernet y WiFi 2.4Ghz- 5Ghz	WiFi 2.4Ghz	Ethernet y WiFi 2.4Ghz- 5Ghz
Voltaje de alimentación (V)	5	5	5	12
Consumo de corriente⁴⁰ (A)	-	3	3	3
Procesador gráfico	-	VideoCore VI	ARM® Mali™-T764 GPU	Mali-T860MP4
Cantidad de pines PWM	-	4	4	2
Cantidad de pines I2C	2	4	4	2
RAM (GB)	-	4	2	4
Precio (S/)	-	197.45	327.19	678.51

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

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

40. En uso típico.

Se escoge el Raspberry Pi 4B debido a cumplir los requerimientos mínimos del sistema al contar con los puertos necesarios, las librerías para poder realizar un control PID, levantar un servidor WEB y procesar los datos pre-procesados en las cámaras correspondientes. Además, el costo menor comparado a las otras computadoras de una placa y el soporte mayor a su comunidad de forma gratuita y abierta.⁴¹

2.1.4.2 Selección de indicadores

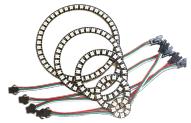
Los indicadores ya sean visuales o sonoros son parte fundamental de una máquina y se usan los dos tipos de indicadores para redundar el sistema de alertas de la CCT⁴². En el caso de la CCT el sistema debe indicar al operario diversos estados o funciones: al detectar una trucha, al contar una trucha, 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 2.17 se comparan tres dispositivos que cumplen con los requerimientos mínimos.

41. Open source softwares and libraries.

42. Máquina Contadora y Clasificadora de Truchas.

Tab. 2.17 – Tabla comparativa de indicadores visuales.

	Requisitos mínimos	HS-WS812B -16L-b	HS-SK6812 -24L-c	HS-WS2812B -R16
Figura	-			
Fabricante	-	SLJLT Co.	SLJLT Co.	SLJLT Co.
Voltaje de alimentación (V)	5	5	5	5
Tipo de LED	-	SMD5050	SMD5050	SMD5050
Potencia (W)	-	3.8	5.8	9.0
Tiempo de vida útil (h)	10000	50000	50000	50000
Cantidad de LEDs	-	16	24	45
Nivel de protección	-	IP20	IP20	-
Temperatura operativa (°C)	[-10; 40]	[-20; 55]	[-25; 55]	[-25; 60]
Diámetro (mm.)	-	72	92	120
Tipo de circuito	-	WS2812B	SK6812	WS2812B
Precio (S/)	-	12.57	14.00	17.59

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

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

Se escoge el modelo HS-WS2812B-R16 que presenta 45 LEDs con un diámetro de 120 mm., ya que debe ser visible para el operario. Además, el consumo de potencia es menor comparado a comprar la cantidad que equipare el número de LEDs de los otros modelos.

- **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 2.18 se compara características técnicas entre algunas bocinas candidatas para el sistema.

Tab. 2.18 – Tabla comparativa de bocinas

	Requisitos mínimos	SE-B40	SBN151	HMK-69TM
Figura	-			
Fabricante	-	SUOER	JLDAudio	Honytek
Material principal	-	Fibra de vidrio	Acero	Plástico
Frecuencia de trabajo (Hz)	-	[90; 15000]	-	[38; 20000]
Voltaje de alimentación (VDC)	12	12	12	12
RMS (W)	-	80	500	50
Precio (\$/)	-	35.9	107.7	35.9

Fuente: Imágenes de dominio público, y elaboración propia.

Se escoge el modelo SE-B40 usado en la industria automovilística debido a que brinda un mayor valor cuadrático medio (RMS) en el consumo de potencia lo cual de forma práctica se traduce en mayor volumen, independientemente de la eficacia. Además, este modelo presenta diferentes presentaciones de diámetros de 4/5/6.5 pulgadas que pueden ser posicionados con mayor facilidad que la forma ovalada de una de las otras opciones.

2.1.4.3 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 2.19 se compara características técnicas entre interruptor de seguridad candidatos para el sistema.

Tab. 2.19 – Tabla comparativa de interruptor de seguridad de apagado de emergencia.

	Requisitos mínimos	LAY5-BS542	LAY5-JBPN1P	LAY5-B174H29
Figura	-			
Fabricante	-	YUMO	YUMO	Genérico
Temperatura operativa (°C)	[-10; 40]	[-25; 55]	[-25; 40]	-
Máximo voltaje admisible (V)	220	[220; 240]	500	500
Diámetro del botón (mm.)	-	40	≈60	54
Nivel de protección (IP)	IP44	IP65	IP54	IP54
Máxima corriente (A)	-	5	5	-
Presentación (und.)	-	20	1	1
Precio (S/)	-	5.39	21.54	17.95

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia.

Se elige el interruptor de seguridad modelo LAY5-JBPN1P debido a presentar la protección necesaria ante polvo y agua. Este interruptor se encuentra sobre el agua y nunca debe tener contacto con esta. En caso la máxima corriente sea sobrepasada, este mecanismo de seguridad funcionará como activador de un microsistema de emergencia.

2.1.4.4 Selección de interruptor de suministro de energía

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 2.20 se compara características técnicas entre interruptores candidatos, primordialmente elegidos por su nivel de protección.

Tab. 2.20 – Tabla comparativa de interruptores de suministro de energía.

	Requisitos mínimos	S/C⁴³	56SW350
Figura	-		
Fabricante	-	HEIGHT	ROCKGRAND
Nivel de protección (IP)	IP67	IP67	IP67
Máximo voltaje admisible (V)	220	Hasta 415	Hasta 500
Tipo de fase soportada⁴⁴	-	M/B/T	M/B/T
Máxima corriente (A)	≈ 50	Hasta 63	Hasta 50
Frecuencias de trabajo (Hz)	60	50/60	50/60
Certificaciones	-	IEC/EN60947-3, AS/NZS 3947	CE CB SEMKO
Precio (S/)	-	53.85	35.90

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnica (*Datasheet*) en el Anexo.
Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

Se escoge el interruptor del fabricante HEIGHT, debido a que soporta una mayor corriente.

El precio es un poco mayor al modelo 56SW350, pero la máxima corriente de este último es muy cercana a la requerida.

2.1.4.5 Control de los caudales de agua

Los caudales dentro del sistema es controlada con un lazo cerrado como se muestra en el diagrama de la Figura 2.27, esto se logra regulando el voltaje de alimentación de la electroválvula solenoide, siendo el voltaje mencionado la variable de control. El objetivo es obtener un caudal con una velocidad determinada en flujo completo dentro de la tubería en la sección de procesamiento de imágenes, por lo que el tiempo de establecimiento no es primordial, sino mantener el caudal apropiado a lo largo del tiempo de uso. Para el control de este mecanismo se escoge un control PID simple. Dicho control será diseñado para tener un cambio suave y encendido extendido con el objetivo de reducir riesgos y prolongar la vida útil de los componentes mecánicos.

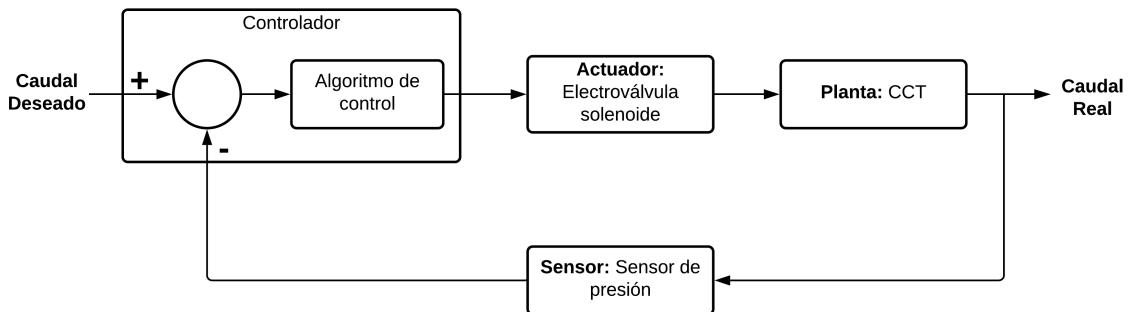


Fig. 2.27 – Diagrama de control del caudal de agua.

Fuente: Elaboración propia.

[BORRADOR] Diagrama de PID [/BORRADOR]

[BORRADOR] Calcular PID [/BORRADOR]

2.1.4.6 Control de iluminación

La iluminación dentro del subsistema de procesamiento de imágenes se controla mediante un algoritmo sencillo de prendido/apagado que activa/desactiva el voltaje de alimentación, el sensor debería detectar cambios en menos de 1 segundo. En la Figura 2.28 se muestra el diagrama de control en lazo cerrado, donde la variable de control es el voltaje de alimentación del LED, con el objetivo de brindar luz blanca.

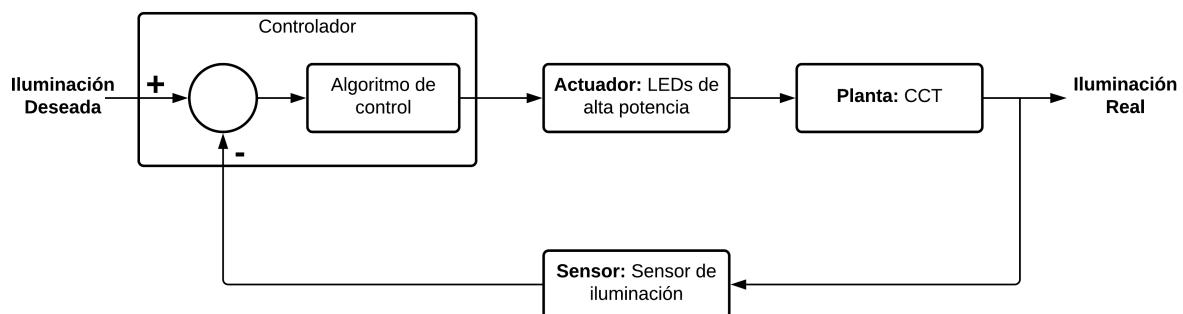


Fig. 2.28 – Diagrama de control de la iluminación en el subsistema de procesamiento de imágenes.

Fuente: Elaboración propia.

[BORRADOR] Diagrama de flujo de iluminación [/BORRADOR]

2.1.4.7 Control de motor a pasos

El motor a pasos tiene incorporado un encoder, por lo que el actuador y el sensor son parte de un dispositivo comercial. En la Figura 2.29 se muestra el diagrama de control en lazo cerrado, donde la variable de control es el voltaje suministrado al motor, mientras que la variable del proceso es el ángulo de giro de la leva conectada al motor.

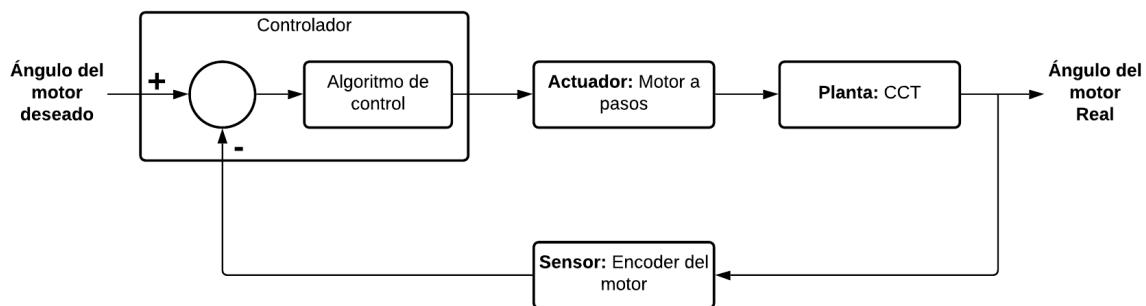


Fig. 2.29 – Diagrama de control de los motores a pasos.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.4.8 Control de indicadores

En la Figura 2.30 se muestra diagramas de control en lazo abierto tanto para la bocina como para los LEDs indicadores. Las variables de control son el voltaje en los dos casos.

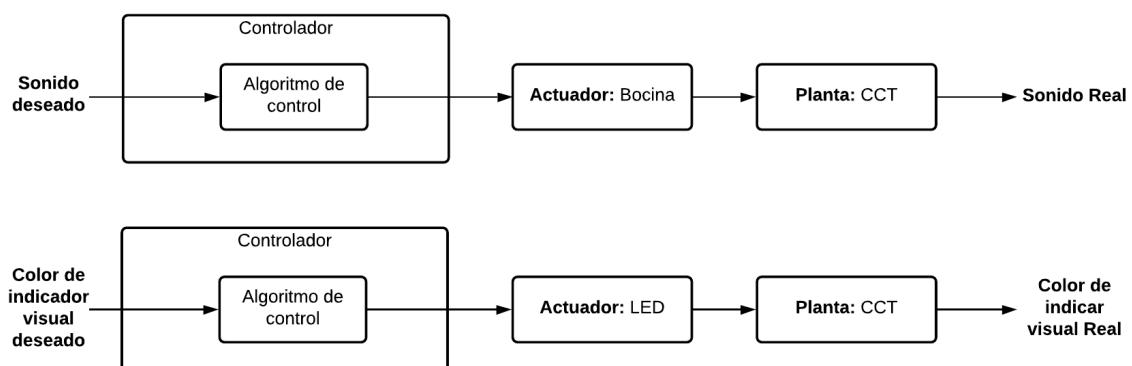


Fig. 2.30 – Diagrama de control de indicadores visuales y sonoros.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.4.9 Control de clasificación y conteo

Como se muestra en la Figura 2.31 el control de la clasificación y conteo es de lazo cerrado.⁴⁵ El algoritmo de clasificación y conteo se define en la subsección de *Selección de algoritmo de clasificación y conteo*. El objetivo es realizar un conteo de alta precisión.⁴⁶

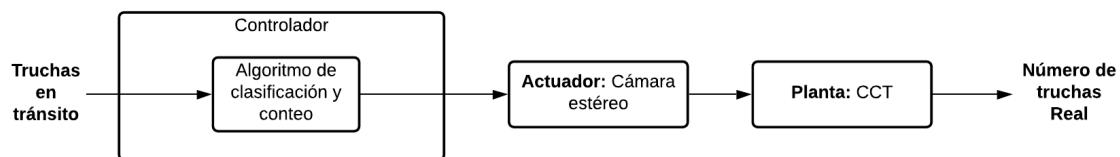


Fig. 2.31 – Diagrama de control de la clasificación y el conteo de truchas.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.4.10 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 \(2012\) \[/BORRADOR\]](#)

45. El control puede mejorarse adicionando un sensor infrarrojo o empleando la cámara simple.

46. En Borisovich et al. (2016) se menciona que la tecnología actual tiene un error del 20%, mientras que el conteo digital tiene un error menor a 1% en lazo abierto.

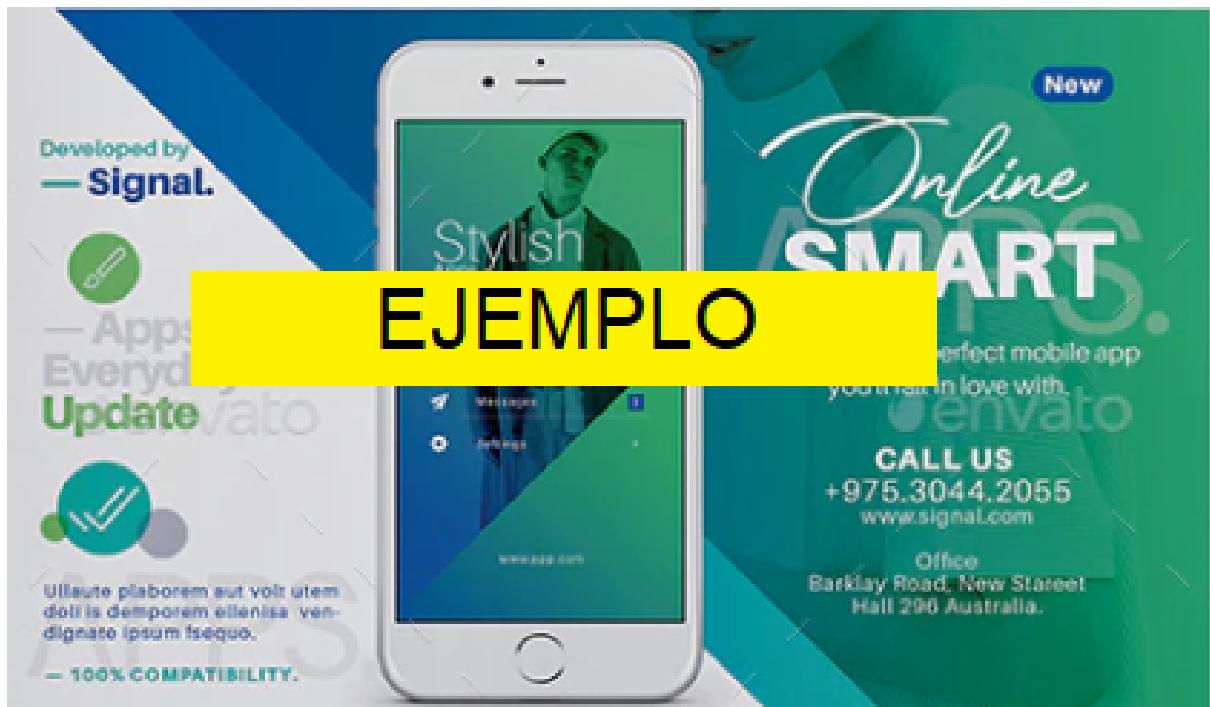


Fig. 2.32 – Aplicación móvil: inicio de sesión

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5 Diseño de 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 que son detallados en las sub-secciones correspondientes. 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.

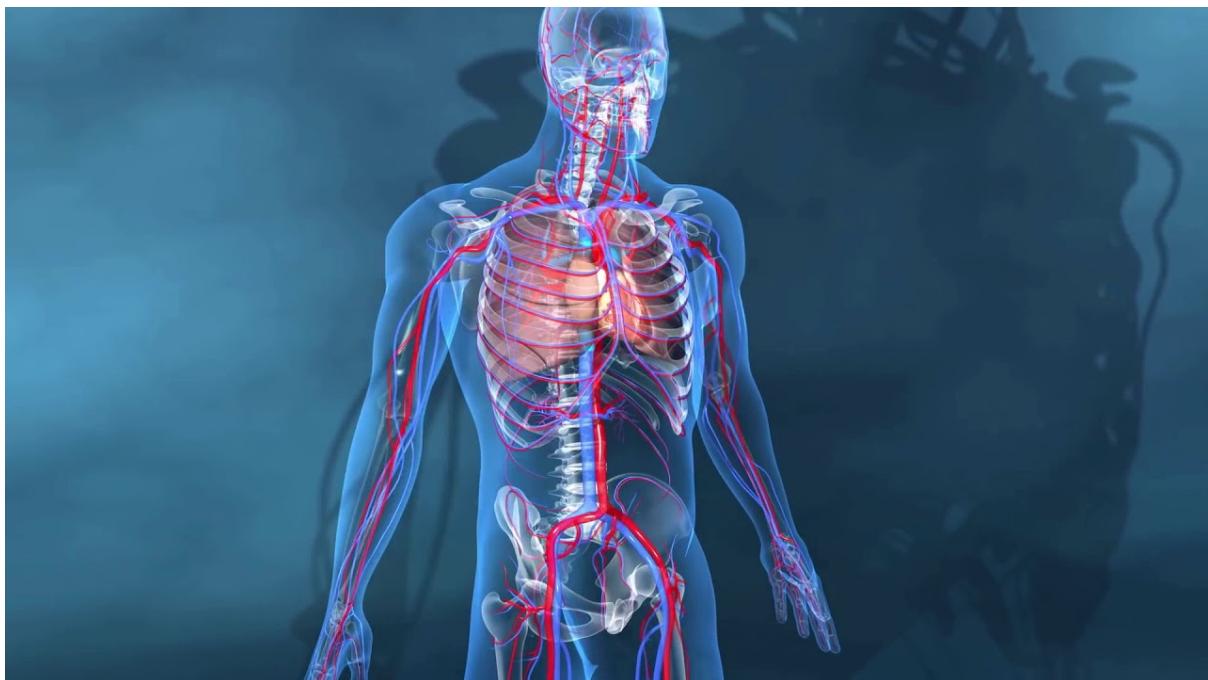


Fig. 2.33 – Subsistema de suministro de energía

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5.1 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 2.21, 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. 2.21 – 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 y 2	NEMA 34	2	24	53.85	2	96
Driver de motor a pasos	DM860H	7.2	24	71.8	2	172.8
Bomba de agua 1	A	B	C	D	1	F
Bomba de agua 2	A	B	C	D	1	F
Driver de bomba de agua	A	B	C	D	1	F
Sensor de presión	WNK80MA	20	5	43.08	4	40
Electroválvula 1	2W	-	24	244.12	1	≈24
Electroválvula 2,3 y 4		-	-	4	E	72
Sensor infrarrojo	HD-DS25CM-3MM	20	5	7	1	0.10
Cámara estéreo	OAK-D	-	-	475.41	1	4.00
Cámara simple	OAK-1	-	-	355.41	1	2.00
LEDs de iluminación	PSH601A	-	24	17.23	2	28.80
Indicador visual	HS-WS812B-16L-b	-	5	12.57	3	3.80
Indicador sonoro	SE-B40	-	12	35.9	2	80.00
Microprocesador	Raspberry Pi 4B	3	5	197.45	1	15.00
Sensor de iluminación	A	B	C	D	1	F

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

2.1.5.2 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 2.22 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. 2.22 – Tabla comparativa de fuentes de alimentación.

	Requisitos mínimos	S-600-48	BNM-24V-500W	D-480-N
Figura	-			
Fabricante	-	SOMPOM	BZX	SOMPOM
Máximo consumo de potencia (W)	>350	600	500	480
Voltaje de entrada (VAC)	220	[85; 264]	110/220	[85; 264]
Frecuencia de entrada (Hz)	60	[47; 63]	[47; 63]	[47; 63]
Salida de corriente (A)	-	[0; 15]	[0; 25]	[0; 10]
Ruido (mV)	-	80	-	80
Eficiencia (%)	-	90	-	90
Voltaje de salida (VDC)	≥24	48	24	12/24
Temperatura operativa (°C)	[-10; 40]	[-10; 60]	-	[-10; 60]
Presentación (und.)	-	1	10	1
Precio (\$/)	-	100.25	80.60	82.56

Fuente: Imágenes de dominio público y elaboración propia. Hoja de datos técnica (*Datasheet*) en el Anexo.
Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

El modelo BNM-24V-500W se escoge sobre las alternativas debido a que brinda una mayor salida de corriente (hasta 25A), se centra en un único voltaje, evitando tener dos valores máximos de corriente y aunque las presentaciones vienen de 10 unidades, se encuentra su venta unitaria en el mercado nacional con un precio similar al presentado.

2.1.5.3 Selección de convertidor de voltaje de comutación

Los convertidores comutados de voltaje de comutación permiten aumentar o disminuir la tensión eléctrica de forma continua de manera más eficiente comparado a otros métodos sin sacrificar eficiencia. En la Tabla 2.23 se muestra 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. 2.23 – Tabla comparativa de convertidor de voltaje de conmutación.

	Requisitos mínimos	LTC3780	WMX-DSD24S1220 + WMX-DSD48S520
Figura	-		
Fabricante	-	-	WEMAXPOWER
Voltaje de entrada (VDC)	24	[5; 32]	24
Voltaje de salida (VDC)	5 y 12	[0.8; 29]	12/ 5
Corriente de entrada (A)	-	15	20/ 50
Frecuencia de Trabajo (KHz)	-	[200; 400]	-
Protección de alimentación invertida	-	No	-
Protección de corto circuito	Sí	Sí	Sí
Protección de sobrecorriente	-	No	Sí
Temperatura de operación (°C)	[-10; 40]	-	[-40; 80]
Nivel de protección (IP)	-	-	Hasta IP68
Eficiencia (%)	-	98	98
Precio (\$/)	-	170.00 (2)	102.78 (Ambos)

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

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

Se escoge el componente WMX-DSD24S1220 con WMX-DSD48S520 para convertir voltaje de 24 voltios a 12 y 5, respectivamente ya que es un dispositivo que asegura el voltaje incluso con variación de corriente en la entrada y con una eficiencia alta. Además, estos dos dispositivos brindan protección de alto grado (IP68) a un menor precio que emplear la alternativa.

2.1.5.4 Diagrama esquemático

El diagrama esquemático presentado en la Figura 2.34 y 2.36 es correspondiente al sistema de CCT, este ex8uhpone las conexiones de todos los componentes electrónicos utilizados.

[BORRADOR] Explicar conexiones [/BORRADOR]

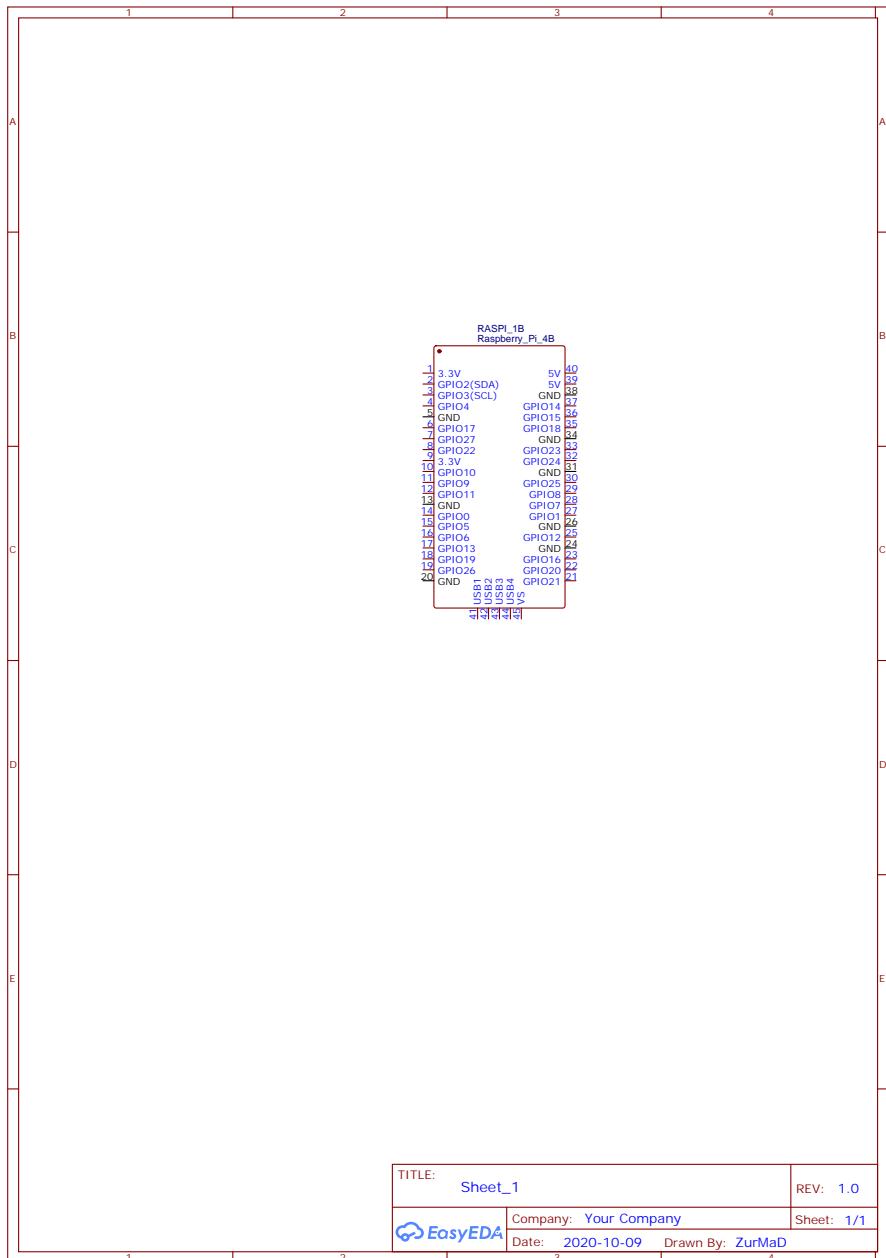


Fig. 2.34 – Diagrama esquemático del sistema

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

2.1.5.5 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo principal, expuesto en la Figura 2.35 y 2.36 se describe las tareas y decisiones necesarias para completar el proceso de clasificación y conteo de trucha empleando

la máquina propuesta en este trabajo.

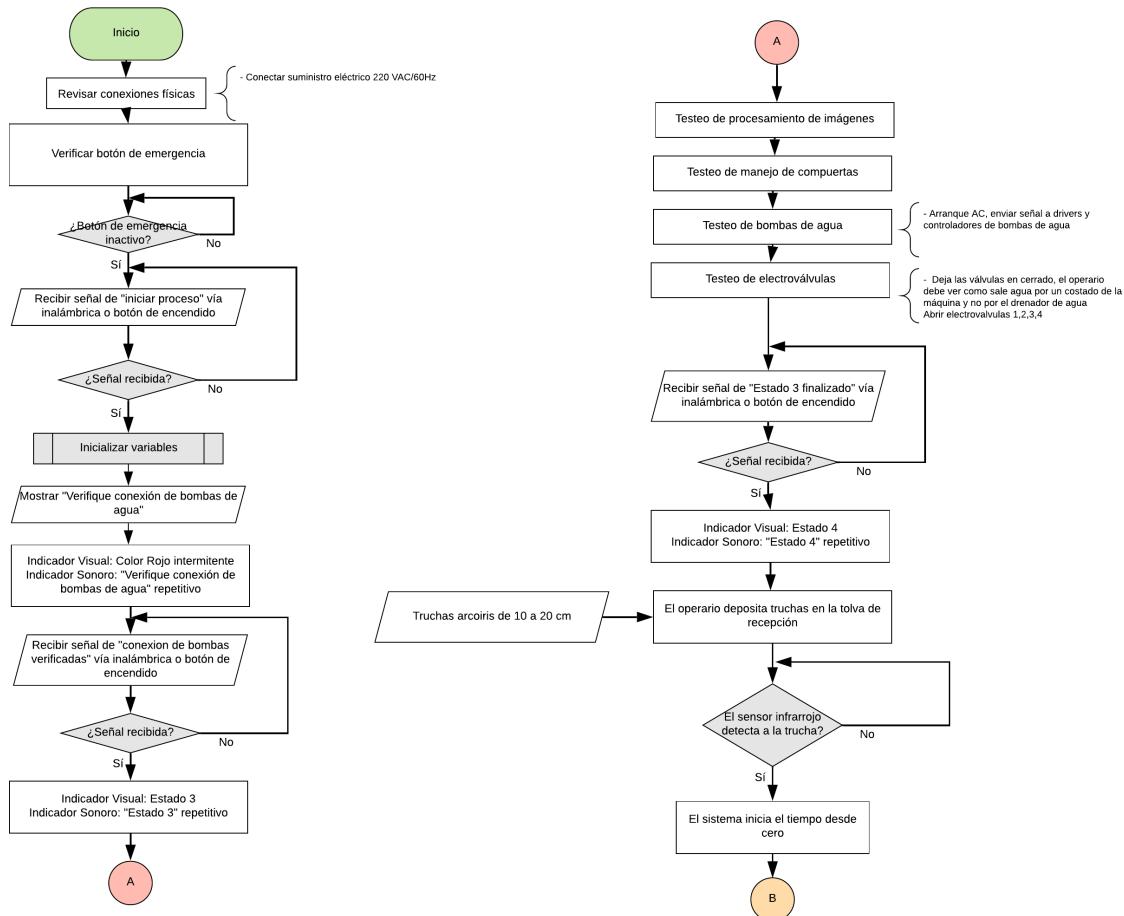


Fig. 2.35 – Diagrama de flujo principal

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 2.36 – Diagrama de flujo principal

Fuente: Elaboración propia.

2.1.6 Diseño de subsistema de flotación

Luego de definir en las secciones anteriores los componentes a utilizar y su interacción con el sistema, es momento de 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.

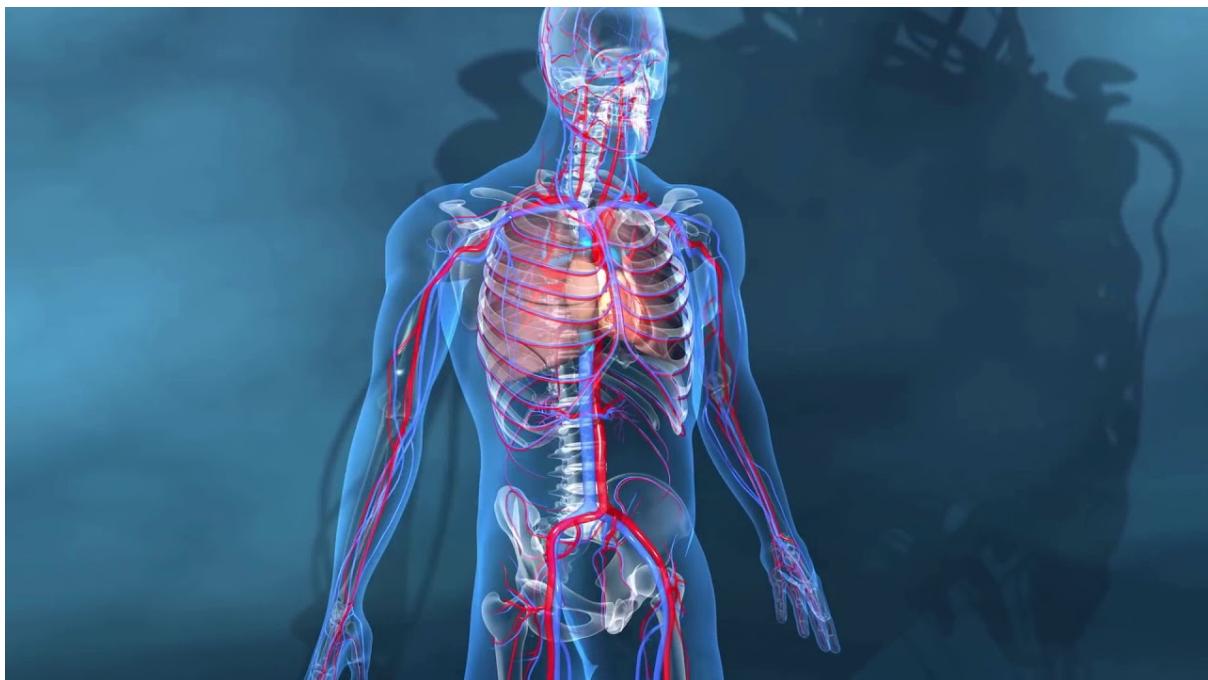


Fig. 2.37 – Subsistema de flotación

Fuente: Elaboración propia.

2.1.6.1 Cálculo de fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema

[BORRADOR] Explicar subsección e importancia [/BORRADOR]



Fig. 2.38 – 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. 2.24 – Tabla comparativa de flotadores.

Requisitos mínimos	1	2	3	
Figura	-			
Concepto	-	9	10	11
Concepto	-	9	10	11

Fuente: Elaboración propia.

[BORRADOR] Explicar selección [/BORRADOR]

2.1.6.3 Diseño de sistema de flotación

[BORRADOR] Introducción [/BORRADOR]

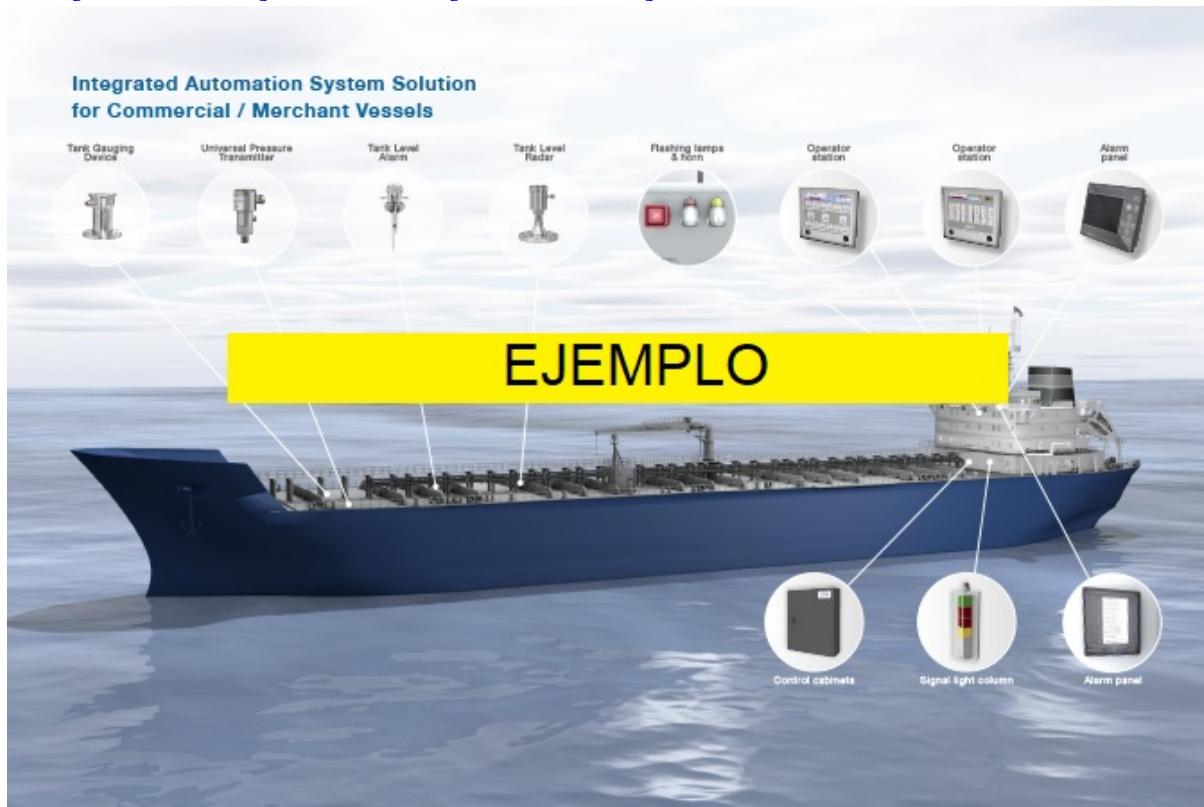


Fig. 2.39 – Fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema

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 ensamblaje y planos de despiece.

2.1.7.1 Lista de planos de ensamble

El plano de ensamblaje 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.⁴⁷ En la Tabla 2.25 se muestra una lista de planos de ensamble.

Tab. 2.25 – Lista de planos de ensamble.

Código de Plano	Título	Tamaño de página
E01-A4	1	2
E02-A4	3	4
E03-A4	5	6
E04-A4	7	8

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 2.26 se muestra una lista de planos de despiece de cada pieza.

Tab. 2.26 – Lista de planos de despiece

Código de Plano	Título del Plano	Tamaño de página
D01-A2	1	2
D02-A2	3	4

Fuente: Elaboración propia.

47. Goetsch et al. (2010)

Capítulo 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]

Capítulo 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>
- Borisovich, S., Alexandrovich, F., & Anatolyevich, O. (2016). *Contador de peces basado en video*. Retrieved from <http://technology.snauka.ru/2016/07/10309>
- 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
- 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
- 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>

-
- INTECH GmbH. (2020). *Cálculos y selección de tuberías. Diámetro óptimo de tubería.* Retrieved from https://intech-gmbh.es/pipelines_calc_and_select/#pipelines_design
- Janna, W. S. (2015). *Introduction to fluid mechanics, Fifth edition.*
- 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/>
- Ryer, A. (1997). *Light Measurement Handbook*. Retrieved from <http://apps.usd.edu/coglab/schieber/pdf/handbook.pdf>
- 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-v5-917e9cel3208>
- 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

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

ANEXOS

AUTOR

Pablo Remigio Díaz Vergara

ASESOR

Ing. Pedro Moises Crisóstomo Romero

Lima, diciembre, 2020

Anexos

HD-DS25CM-3MM Enlace QT50CM Enlace GP2Y0A21YK0F Enlace OAK-D Enlace
B0263 Enlace B0204 Enlace B0249 Enlace Alvium 1800-U-500m Enlace CMT-8MP-IMX219-
M366 Enlace RPI4B-4GB Enlace Enlace Enlace

INDICADOR LUZ NSSW108T NSSW100DT NFSL757GT-V1 Enlace Enlace

INDICADOR SONORO SE-B40 SBN151 HMK-69TM Enlace Enlace Enlace

LED ILUMINACION HS-WS812B-16L-b HS-SK6812-24L-c HS-WS2812B-R16 Enlace
Enlace Enlace

INTERRUPTOR EMERGENCIA LAY5-BS542 LAY5-JBPN1P Enlace Enlace Enlace