

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 Paucarcocha

**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

En el presente trabajo se desarrolla el diseño integral que comprende el diseño de ingeniería basándose en el diseño conceptual realizado en un trabajo previo. Consecuentemente, este trabajo detalla, calcula y evalúa aspectos técnicos del sistema en su conjunto que realiza una clasificación y conteo de truchas en la Laguna de Paucarcocha. La presente propuesta brinda una opción: un sistema semiautomatizado que tiene un precio inferior a las máquinas actualmente comerciables que se adapta a los requerimientos específicos dentro del mercado peruano y simplifica el proceso de clasificación con el fin de disminuir la alta mortandad presente en trabajos manuales. Las simulaciones demuestran un funcionamiento adecuado sistema de detección y conteo de truchas basado en algoritmos de detección de objetos de la arquitectura de redes neuronales YOLO aplicadas a imágenes adquiridas por una cámara estéreo. Finalmente, se concluye que se elaboró un sistema para la clasificación y conteo que sirve para las bases de un prototipo con un costo aproximado de \$4900.

Agradecimientos

A mis padres, Flor y Abelardo,

*por creer que la educación
transforma a la sociedad para bien,
el tiempo les dio, da y dará la razón.*

A mi hermano, Abelardo,

*con quién viví y compartí hogar
durante el estudio en la universidad.*

A los catedráticos de la PUCP,

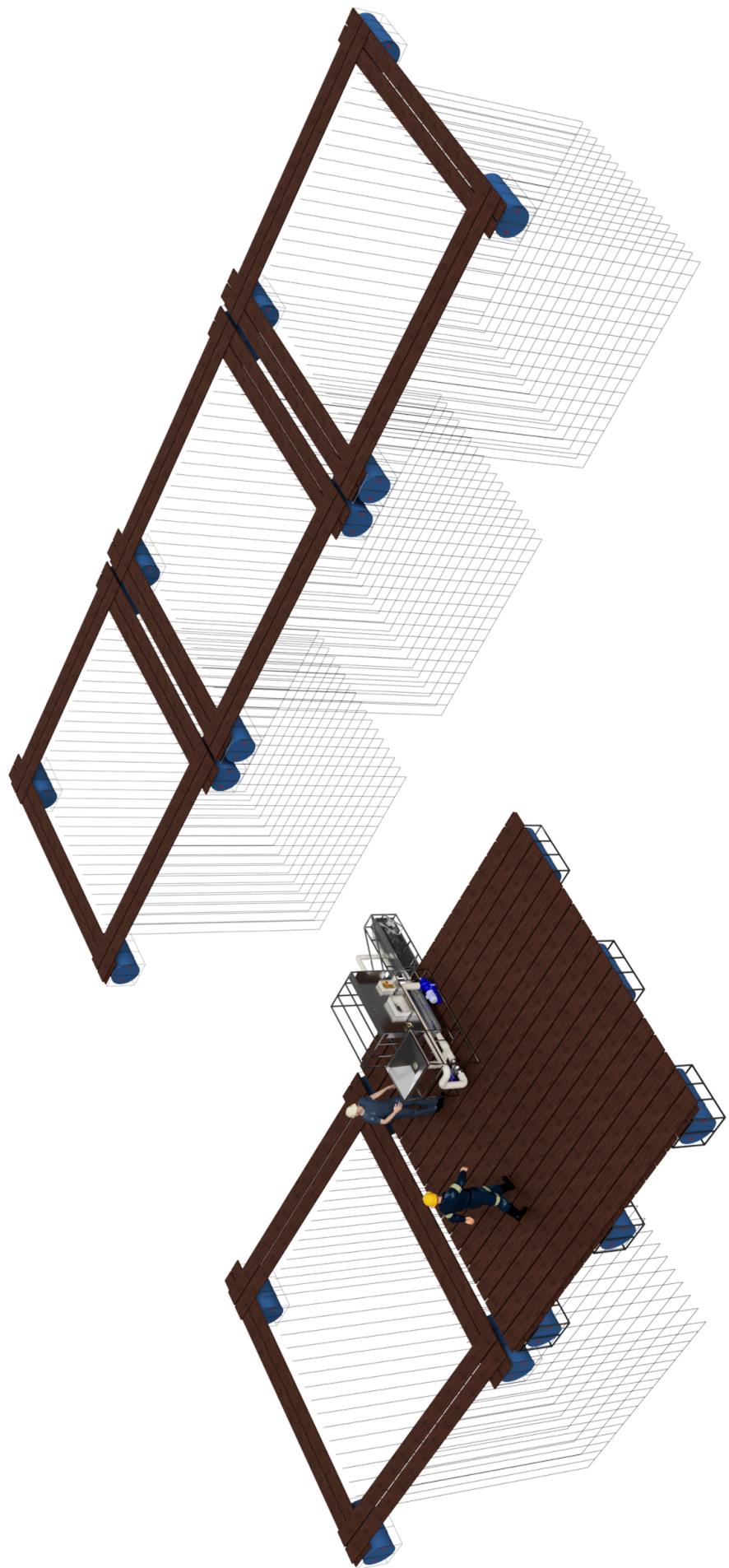
*entre ellos mi asesor, Ing. Pedro C.
por guiar en la realización de esta tesis.*

A mis amigos y amigas,

*por ser fuente de estabilidad emocional,
por brindar de su tiempo para ser sociedad.*

A la comunidad,

*porque este trabajo fue hecho
mientras asesinaban jóvenes que
buscan un mejor mundo, como yo.*



Índice

<i>Resumen</i>	i
<i>Agradecimientos</i>	ii
<i>Índice</i>	iv
<i>Índice de figuras</i>	viii
<i>Índice de tablas</i>	xi
<i>Índice de símbolos</i>	xiii
<i>Capítulo 1. — Antecedentes</i>	1
1.1 Problemática	1
1.2 Alcance	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Metodología	3
<i>Capítulo 2. — Diseño mecatrónico integral</i>	6
2.1 Descripción del sistema integral	7
2.1.1 Arquitectura de hardware	8
2.1.2 Selección de materiales de fabricación	9
2.2 Repositorios de código fuente	12
2.3 Planos del sistema	12
2.3.1 Lista de planos de ensamble	12
2.3.2 Plano de despiece	13

2.4	Subsistema de flotación	14
2.5	Sistema para mantener a flote el sistema	15
<i>Capítulo 3.</i>	<i>— Diseño de subsistema de recepción, distribución y traslado de truchas</i>	17
3.1	Diseño del subsistema de recepción de truchas	18
3.1.1	Cálculos dimensiones del subsistema de recepción de truchas	18
3.2	Diseño de subsistema de distribución de truchas	20
3.2.1	Selección de mecanismo que acciona la compuerta	22
3.2.2	Diseño de mecanismo que acciona la compuerta	23
3.2.3	Cálculo de torque sobre la compuerta	24
3.2.4	Selección de motores a paso	27
3.2.5	Selección de driver de motor a pasos	27
3.3	Diseño de subsistema de traslado de truchas	28
3.3.1	Diseño de tuberías	29
3.3.2	Cálculo de caudales y selección de la bomba de agua	29
3.3.3	Selección de las electroválvulas	33
3.3.4	Selección de sensores de presión	34
<i>Capítulo 4.</i>	<i>— Diseño de subsistema de procesamiento de imágenes</i>	36
4.1	Selección del sensor infrarrojo	36
4.2	Selección de cámaras	40
4.2.1	Cálculo de distancias apropiadas de las cámaras	40
4.2.2	Cálculo de cuadros por segundo (fps) necesarios para la cámara estéreo	41
4.2.3	Selección de cámara estéreo	43
4.2.4	Selección de cámara simple	45
4.3	Selección de iluminación adecuada	46
4.4	Selección de sensor de luz	47
4.5	Selección de algoritmo de clasificación y conteo	48
4.6	Recopilación y etiquetado de imágenes	52
<i>Capítulo 5.</i>	<i>— Diseño de subsistema de control e interacción con el usuario</i>	53
5.1	Selección de microprocesador	54
5.2	Selección de indicadores	55
5.2.1	Indicador visual	56
5.2.2	Indicador sonoro	56

5.3	Selección de interruptor de seguridad de apagado de emergencia	57
5.4	Selección de interruptor de suministro de energía	58
5.5	Control de los caudales de agua	59
5.6	Control de iluminación	60
5.7	Control de motor a pasos	61
5.8	Control de indicadores	61
5.9	Control de clasificación y conteo	62
5.10	Diseño frontend de la aplicación móvil	62
<i>Capítulo 6.</i>	<i>— Diseño de subsistema de suministro de energía</i>	64
6.1	Cálculo del consumo de energía del sistema	65
6.2	Selección de fuente de alimentación	65
6.3	Selección de convertidor de voltaje de conmutación	66
6.4	Diagrama esquemático	67
6.5	Diagrama de flujo	72
<i>Capítulo 7.</i>	<i>— Pruebas y resultados</i>	75
7.1	Algoritmos de clasificación y conteo de truchas	75
7.1.1	Definición de criterios de clasificación	76
7.1.2	Resultados YOLOv3	77
7.1.3	Resultados YOLOv4	78
7.1.4	Resultados del algoritmo de detección	78
7.1.5	Tiempos de ejecución y detección	79
7.2	Algoritmo de medición	81
7.3	Simulación estructural	81
7.3.1	Armadura	81
7.3.2	Plataforma flotante	82
<i>Capítulo 8.</i>	<i>— Estimación de costos</i>	84
8.1	Costos de diseño	84
8.2	Costos de componentes	84
8.3	Costos de materiales	86
8.4	Costos de manufactura	87
8.5	Costos total del sistema	87

<i>Conclusiones</i>	88
<i>Recomendaciones</i>	89
<i>Referencias</i>	91

Índice de figuras

1.1	Dibujo del concepto óptimo	1
1.2	Estado de diseño mecatrónico: sub-soluciones	3
1.3	Fases de diseño según VDI 2221	4
2.1	Diseño integral de la máquina de clasificación y conteo de truchas.	6
2.2	Arquitectura de hardware del sistema	8
2.3	Subsistema de flotación	15
2.4	Fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema	16
3.1	Subsistema de recepción, distribución y traslado de truchas	17
3.2	Mecanismo de distribución de truchas	18
3.3	Cálculo de dimensiones y ángulo de la tolva	19
3.4	Ángulo de tolva vs aceleración en la trucha	20
3.5	Mecanismo de distribución de truchas - Vista isométrica	21
3.6	Mecanismo de distribución de truchas - Vista isométrica opuesta	21
3.7	Conceptos de mecanismos de distribución de truchas	22
3.8	Mecanismo leva-seguidor	24
3.9	Engranajes del mecanismo de compuertas	24
3.10	Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de la compuerta	25
3.11	Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de la leva	25
3.12	Mecanismo de distribución de truchas	29
3.13	Calculo de coeficiente de rozamiento usando diagrama de Moody.	30
3.14	Diagrama de tuberías.	31
4.1	Subsistema de procesamiento de imágenes	36
4.2	Ánálisis de posición de luz infrarroja	37
4.3	Cálculo de posición de luz infrarroja	38

4.4	Cálculo de distancia máxima de desviación de haz de luz en condiciones ideales.	38
4.5	Distancia entre juego de espejos y cámara estéreo	40
4.6	Cálculo de distancia apropiada para la cámara estéreo	41
4.7	Aproximación lineal de la relación entre peso y la velocidad de nado de truchas arcoíris	42
4.8	Diagrama esquemático y dependencia de la distancia del objeto seguido por una cámara estéreo.	43
4.9	Pruebas de medición con distintas distancias al objeto.	44
4.10	Opciones de posicionamiento de iluminación.	46
4.11	Comparación entre modelos de redes neuronales de detección de objetos en tiempo real usando el dataset "COCO".	49
4.12	Arquitectura de detección de objetos de YOLOv4-512	50
4.13	Arquitectura de detección de objetos de YOLOv3-512	51
4.14	Porción de base de datos de imágenes recolectada FISH9003.	52
5.1	Subsistema de control e interacción con el usuario	53
5.2	Diagrama de control del caudal de agua.	60
5.3	Diagrama de control de la iluminación en el subsistema de procesamiento de imágenes.	60
5.4	Diagrama de control de los motores a pasos.	61
5.5	Diagrama de control de indicadores visuales y sonoros.	61
5.6	Diagrama de control de la clasificación y el conteo de truchas.	62
5.7	Aplicación móvil: todos los marcos	63
6.1	Subsistema de suministro de energía	64
6.2	Diagrama esquemático del microprocesador.	68
6.3	Diagrama esquemático de los drivers de los motores a pasos.	68
6.4	Diagrama esquemático de las cámaras.	69
6.5	Diagrama esquemático del generador PWM a partir de I2C.	69
6.6	Diagrama esquemático de los indicadores visuales.	70
6.7	Diagrama esquemático de los sensores de presión e infrarrojo.	70
6.8	Diagrama esquemático de los leds de alta potencia.	71
6.9	Diagrama esquemático del indicador sonoro.	72
6.10	Diagrama de flujo principal	73

6.11	Diagrama de flujo principal	74
7.1	Resultados del entrenamiento de YOLOv3.	77
7.2	Resultados del entrenamiento de YOLOv4.	78
7.3	Inferencia de detección y conteo de truchas.	79
7.4	Tarjeta gráfica (GPU) usada en el entrenamiento de YOLOv3 y YOLOv4. . .	80
7.5	Medición digital de una trucha referenciada dimensionalmente con una moneda de 1 sol peruano.	81
7.6	Cálculo de factor de seguridad de armadura en operación.	82
7.7	Cálculo de factor de seguridad en la plataforma flotante de 5x5 m.	83

Índice de tablas

2.1	Tabla comparativa de propiedades entre <i>Aluminio vs Acero Inoxidable</i>	9
2.2	Tabla comparativa de propiedades entre <i>PMMA, PVDF y PETG</i>	10
2.3	Tabla comparativa de propiedades entre <i>HDPE vs PVC – U</i>	11
2.4	Materiales de fabricación por subsistema	11
2.5	Lista de planos de subensamble.	12
2.6	Lista de planos de ensamble y subensamble sistema.	13
2.7	Lista de planos de subensamble.	14
3.1	Tabla comparativa de conceptos de mecanismos.	23
3.2	Tabla comparativa de motores a pasos.	27
3.3	Tabla comparativa de motores a pasos.	28
3.4	Tabla comparativa de electroválvulas	34
3.5	Tabla comparativa de sensores de presión	35
4.1	Tabla comparativa de sensores infrarrojos.	39
4.2	Tabla comparativa de cámaras estéreo.	44
4.3	Tabla comparativa de cámaras.	45
4.4	Tabla comparativa de leds de alta potencia.	47
4.5	Tabla comparativa de sensores de iluminación.	48
4.6	Tabla comparativa de algoritmos de detección de objetos en tiempo real ordenados por cantidad de fotogramas máximos obtenidos.	49
5.1	Pines necesarios en el microprocesador.	54
5.2	Tabla comparativa de microprocesadores.	55
5.3	Tabla comparativa de indicadores visuales.	56
5.4	Tabla comparativa de bocinas	57
5.5	Tabla comparativa de interruptor de seguridad de apagado de emergencia.	58

5.6	Tabla comparativa de interruptores de suministro de energía.	59
6.1	Tabla de consumo de energía del sistema por dispositivo.	65
6.2	Tabla comparativa de fuentes de alimentación.	66
6.3	Tabla comparativa de convertidor de voltaje de conmutación.	67
7.1	Matriz de confusión.	76
8.1	Costo de diseño de ingeniería.	84
8.2	Costo de componentes eléctricos y electrónicos.	85
8.3	Costo de materiales estructurales y tuberías	86
8.4	Costo de manufactura.	87
8.5	Costo total del sistema.	87

Índice de símbolos

Se utilizan las siguientes normas DIN para la definición y designación de símbolos

Concepto	Norma
Unidades	DIN 1301
Signos matemáticos	DIN 1302
Notación para fórmulas en general	SI 2019
Masa, peso, fuerza de peso, aceleración de caída	DIN 1305
Densidad	DIN 1306
Presión	DIN 1314
Redondeado de números	DIN 1333

Unidades de medida según DIN 1301

Longitud	m (Metro)
Superficie	m^2 (Metro cuadrado)
Volumen	m^3 (Metro cúbico)
Ángulo plano	rad (Radiante)
Tiempo	s (segundo)
Frecuencia	Hz (Hertz)
Masa	Kg (Kilogramo)
Temperatura	$^{\circ}K$ (Grado Kelvin)
Temperatura	$^{\circ}C$ (Grado Celsius)
Fuerza	N (Newton)
Presión	N/m^2 (Newton.metro cuadrado)
Energía, trabajo, cantidad de calor	J (Joule)
Potencia	W (Watt)
Viscosidad dinámica	$N.s/m^2$
Viscosidad cinemática	m^2/s
Intensidad de corriente	A (Ampere)
Tensión eléctrica	V (Volt)
Resistencia eléctrica	Ω (ohm)

Símbolos en fórmulas según DIN 1304

α, β, γ	ángulo
l	longitud
b	anchura
h	altura
r, R	radio
d, D	diámetro
A	Área
S	superficie
V	volumen
t	tiempo
g	aceleración de la gravedad
T	duración del periodo
F	frecuencia
n	número de revoluciones
m	Masa
ρ	densidad
J	momento de inercia
F	fuerza
M	momento
P	presión
σ	tensión de tracción o compresión
τ	tensión tangencial, tensión de cortadura
η	viscosidad dinámica
ν	viscosidad cinemática
E	energía
P	potencia
T	temperatura Kelvin
t	temperatura Celsius
A	conductividad térmica
R	resistencia eléctrica, resistencia efectiva

Subíndices en fórmulas según DIN 1304

max	máximo
min	mínimo
t	componente tangencial
r	relativo, radial
$a^*(e)$	exterior
i	interior
0	valor característico, valor inicial valor de reposo

Notación de resistencia de materiales según DIN 1350

σ	tensión normal
τ	tensión tangencial admisible
σ_{adm}	tensión normal admisible
τ_{adm}	tensión tangencial admisible
$v^*(F.S)$	factor de seguridad
σ_F	tensión en el límite de fluencia
σ_B	resistencia a la tracción
E	módulo de elasticidad
M	Momento de una fuerza
M_t	momento de torsión
M_b	momento de flexión

Capítulo 1

Antecedentes

En este capítulo se explica la procedencia del diseño junto con su propósito en la descripción del sistema conceptual. Luego, se explora el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo, el alcance del estudio y la metodología usada.

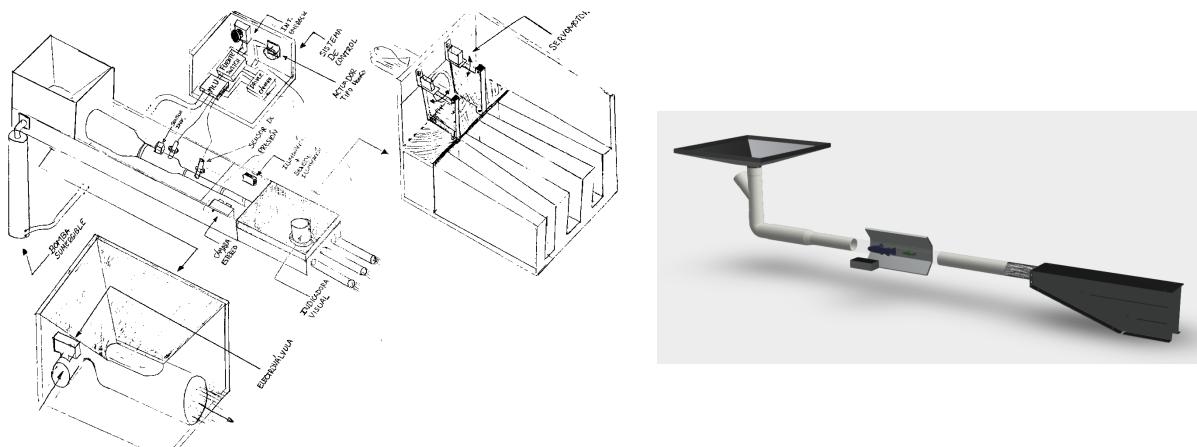


Fig. 1.1 – Dibujo del concepto óptimo
Fuente: Díaz Vergara (2020).

1.1 Problemática

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: parte del diseño conceptual y, en el presente trabajo, se desarrolla el diseño integral. Dicho diseño conceptual se enfoca en elaborar un sistema que "reduzca la mortandad presente en el proceso de clasificación manual". En la Figura 1.1

1. Díaz Vergara (2020)

se muestra el bosquejo del concepto de solución desarrollado en dicho trabajo y también una versión 3D sobre dicho bosquejo sin algunos componentes. El presente trabajo continua en brindar una solución de ingeniería que logre disminuir las consecuencias de un trabajo manual con maquinaria semi-automática.

1.2 Alcance

El presente estudio abarca el diseño integral de la máquina clasificadora y contadora de truchas arcoíris (CCT) con enfoque en el 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. El diseño integral abarca el diseño de la máquina centrado en los operarios, el uso de tecnologías recientes para brindar un sistema que unifica acceso mediante aplicaciones, procesamiento offline e interacción mediante aplicaciones móviles. Además, este diseño pretende ser la base de un prototipo y posterior máquina comercializable para mejorar la producción de salmones en lagos y lagunas en el Perú. Este sistema esta dentro de los objetivos globales de desarrollo sostenible establecidos por la ONU²: noveno objetivo que trata sobre industria, innovación e infraestructura, en este caso en el sector acuícola.

1.3 Objetivos

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

1.3.1 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 previo³.

-
2. Las Naciones Unidas. Ver objetivos en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-desarrollo-sostenible/>
 3. Diseño conceptual extraído de Díaz Vergara (2020)

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar la máquina de clasificación y conteo de truchas, un sistema de procesamiento de imágenes y un sistema que permita su control e interacción con los operarios.
- Recolectar y etiquetar imágenes para formar una base de datos para el algoritmo de detección de truchas en el sistema de procesamiento de imágenes.
- Realizar pruebas conceptuales de los algoritmos, análisis de falla mecánica y presentar resultados de los algoritmos seleccionados.
- Presentar una estimación de costos del diseño, componentes, materiales y manufactura.

1.4 Metodología

En la sección llamada "*Desarrollo del diseño mecatrónico conceptual*"⁴ se analizó el concepto de solución óptimo. En la Figura 1.2 se muestra la etapa final de unir las sub-soluciones para desarrollar una forma viable de implementarlos de una forma integral.

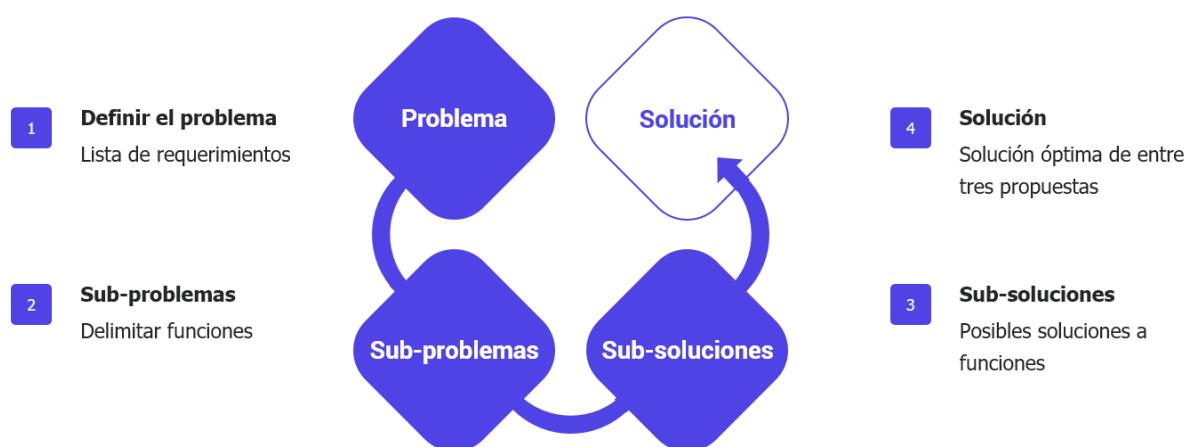


Fig. 1.2 – Estado de diseño mechatrónico: sub-soluciones

Fuente: Elaboración propia

4. Díaz Vergara (2020)

Según el proceso de diseño indicado en la norma VDI 2221 que se muestra en la Figura 1.3 se parte del diseño conceptual propuesto (5) y se presenta el diseño integral (6)⁵, también llamado diseño de ingeniería, que abarca diferentes puntos: dimensionamiento del sistema; cálculos; selección técnica de materiales entorno a su aplicación; selección técnica de sensores; actuadores y dispositivos de control; lógica del control del sistema y su estrategia; planos mecánicos: ensamble y despiece; planos eléctricos y/o electrónicos; simulaciones de la máquina y una estimación de costos.

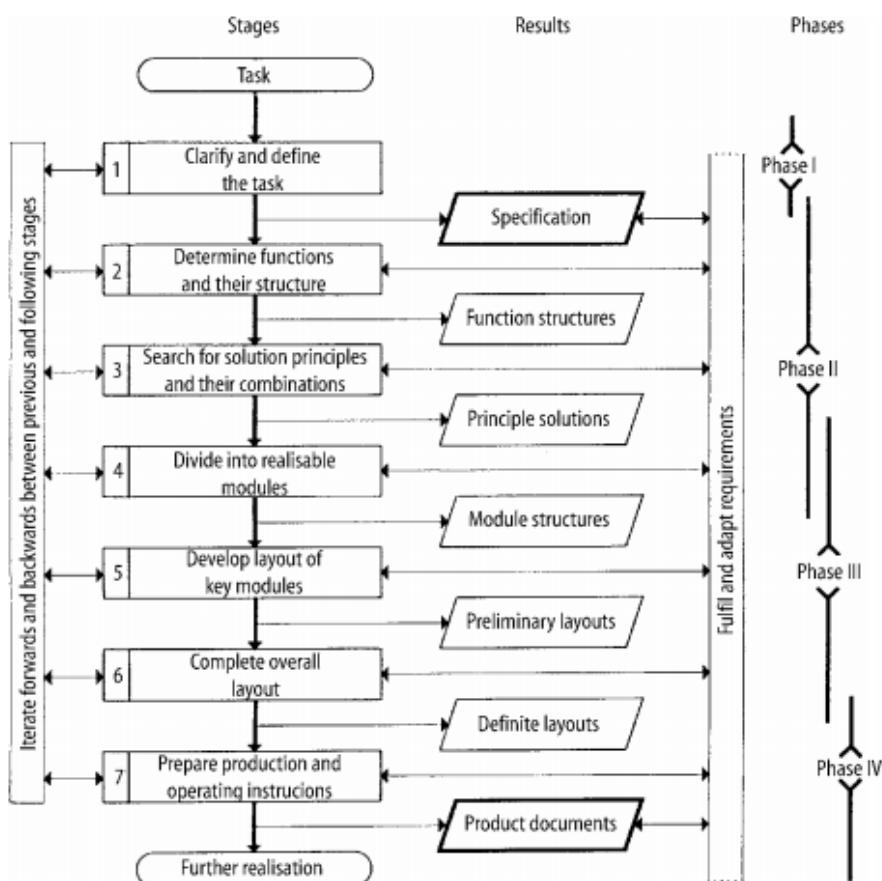


Fig. 1.3 – Fases de diseño según VDI 2221

Fuente: Pahl et al. (2007)

La metodología se refiere a los procesos que se emplean en el trabajo con el fin de cumplir los objetivos y presentar conclusiones. Debido a que los procedimientos son establecidos en las

5. Pahl et al. (2007)

normas VDI 2221-2226, en las siguientes líneas se detalla los softwares utilizados para lograr el resultado brindado para el sistema en su conjunto. El desarrollo de ingeniería del concepto se realiza en el programa Fusion 360⁶. Tanto los diseños como renders⁷ pueden ser visualizados online en la web mediante el uso de enlaces que son publicados en las secciones respectivas. Para el diseño electrónico se utiliza la página web EasyEDA⁸ debido a que cuenta con una extensa librería de componentes electrónicos y la fabricación de las PCBs en serie se realiza con pocos pasos y a un costo razonable. En cuanto al sistema de procesamiento de imágenes y sus instrucciones de procesamiento: como se acostumbra con sistema complejos se almacenan en Github⁹; se desarrollan con librerías conocidas como PyTorch¹⁰ apoyado de herramientas como Docker¹¹, Heroku¹²; en el caso del diseño frontend de la aplicación se realiza en la plataforma Figma¹³. En cuanto al presente documento se realiza con LATEXy en el caso de los diagramas LucidChart¹⁴.

-
6. Fusion360: "Integrated CAD, CAM, CAE, and PCB software"
 7. Imágenes procesadas de un diseño para ser foto-realistas.
 8. EasyEDA: An Easier and Powerful Online PCB Design Tool.
 9. Github: Development platform to review code, manage projects, and build software.
 10. PyTorch: An open source machine learning framework that accelerates the path from research prototyping to production deployment.
 11. Docker: Build and ship apps.
 12. Heroku: Deploy, manage, and scale apps..
 13. Figma: Create, test, and ship better designs from start to finish.
 14. LucidChart: Diagramación inteligente.

Capítulo 2

Diseño mecatrónico integral

En este capítulo se realiza el diseño de ingeniería del sistema que abarca la selección de componentes, su distribución eléctrica, electrónica y física. Los cálculos y dimensionamiento asociado a las partes del sistema se desarrollan en este capítulo. Además se realiza una comparación técnica de los componentes acorde a los propósitos de la máquina que finaliza con la selección del componente, mecanismo o algoritmo más apropiado.

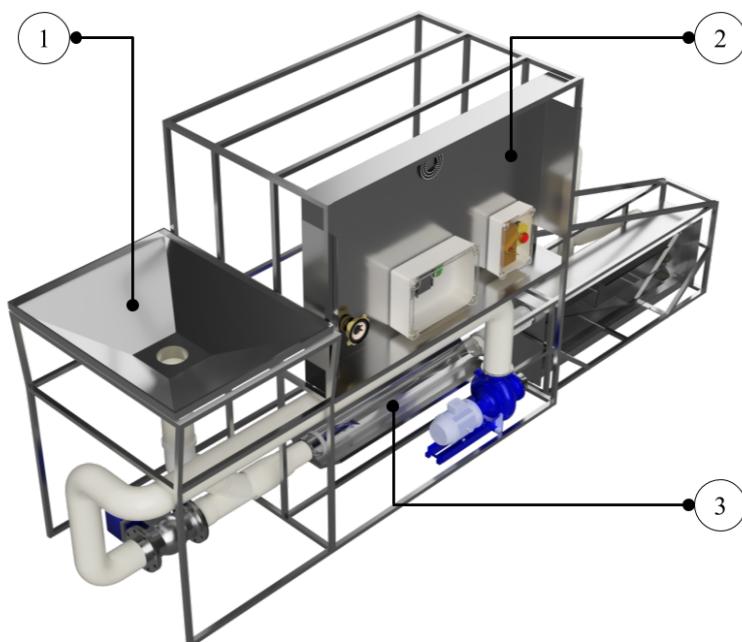


Fig. 2.1 – Diseño integral de la máquina de clasificación y conteo de truchas.

Leyenda: (1) subsistema de recepción, distribución y traslado de truchas; (2) subsistema de control e interacción con el usuario; (3) subsistema de procesamiento de imágenes.

Fuente: Elaboración propia

2.1 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 proyecto¹; 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; aumento del máximo peso admisible según requisito a 400 kg. debido al empleo de plataformas flotantes de alta capacidad de flotación en lugar de su uso en botes de 3 metros de largo.

La máquina clasificadora y contadora de truchas (CCT), y su sistema respectivo tienen como función principal recepcionar truchas mediante una tolva, procesar la clasificación, conteo y distribución hacia tres jaulas flotantes en medio de la Laguna de Paucarcocha.² La máquina se sitúa sobre el agua y es empleada por un operario, que se encarga de extraer truchas con una sacadera telescópica³. En las siguientes páginas se analizan dos puntos generales concernientes al sistema: arquitectura de hardware y la selección de materiales de fabricación por subsistema.

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

2.1.1 Arquitectura de hardware

En la Figura 2.2 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.

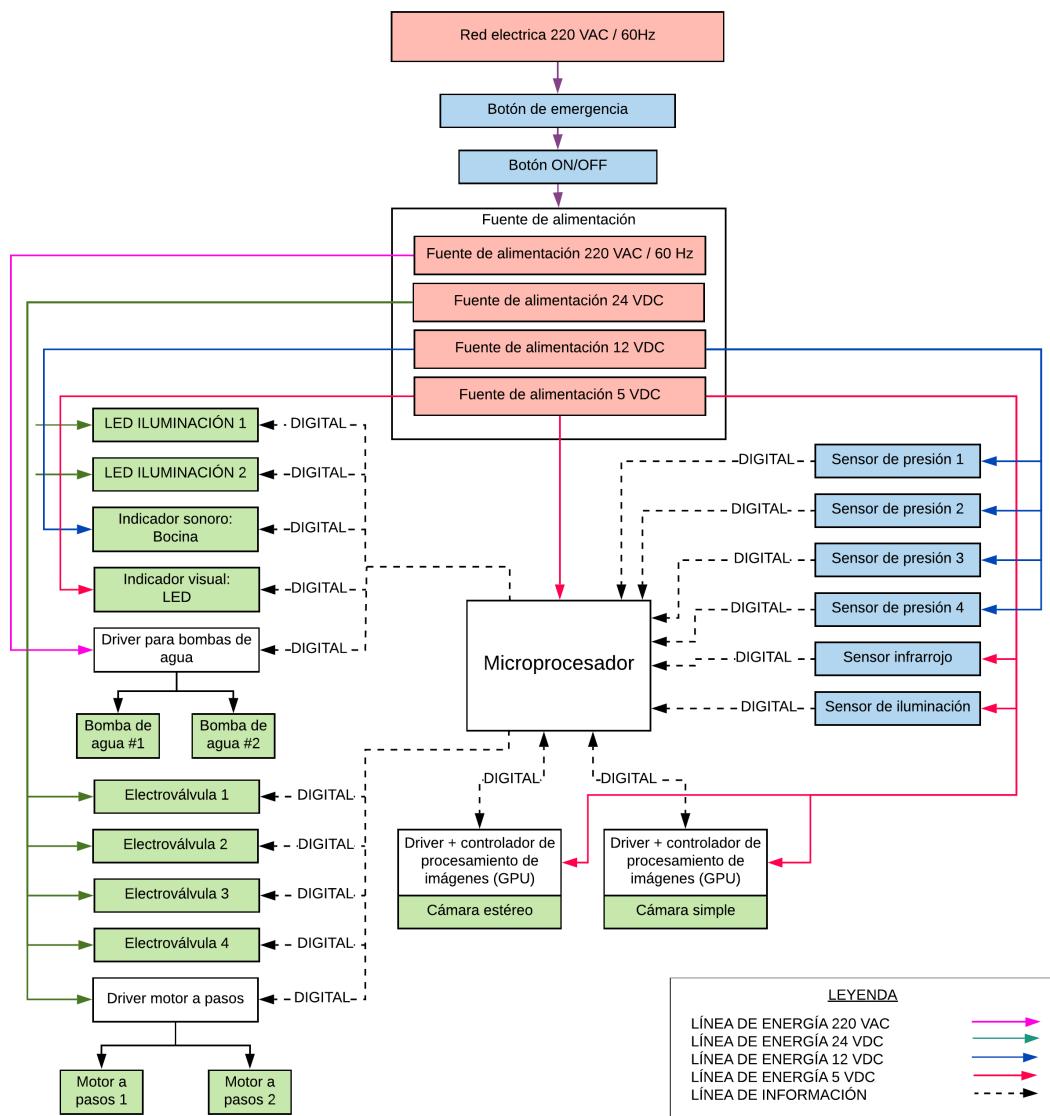


Fig. 2.2 – Arquitectura de hardware del sistema

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 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*"⁴. 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 recepcionar 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 \bar{Y} (MPa)	58-110	210-430
Resistencia a la tracción (MPa)	130-410	520-1180
Temperatura máxima mecánica (°C)	650	590
Conductividad térmica (W/m – K)	170	15
Expansión térmica ($\mu m/m - K$)	24	16
Conductividad eléctrica (%)	43	2.3
Densidad (g/cm^3)	2.7	7.9

*Terminología técnica de los materiales: Aluminio 6061, Acero Inoxidable AISI 306 .
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.

4. Díaz Vergara (2020).

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.

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

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

*Terminología técnica de los materiales: Polimetilmetacrilato (Acrílico)(PMMA), Fluoruro de polivinilideno (PVDF), Tereftalato de polietileno modificado con glicol (PETG).

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

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

Subsistema de procesamiento de suministro de energía y subsistema de control e interacción con el usuario: Los materiales son propios de los dispositivos electrónicos comerciales dependientes de la tecnología que se selecciona, por lo que se omite una clasificación de materiales en estos subsistemas.

Subsistema de flotación: Cuenta con dos mecanismos; armadura y flotadores. El primero

debe funcionar como esqueleto para los otros subsistemas y del mismo. El segundo debe mantener el sistema a flote. En la Tabla 2.3 se compara técnicamente las propiedades mecánicas, térmicas y ópticas de dos materiales.

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

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

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

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

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

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

Tab. 2.4 – Materiales de fabricación por subsistema

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 24026-1:2020⁵ (Acrílico) (PMMA), Polietileno de alta densidad (HDPE), Acero Inoxidable AISI 306 , Aluminio 6061 (AL), Fluoruro de polivinilideno (PVDF).

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Repositorios de código fuente

Los códigos de los sistemas, algoritmos y otros se almacenan de forma ordenada en repositorios que permiten el versionado, descentralización y disponibilidad de la información para poder reproducir, editar y mejorar los resultados por otras personas. En la Tabla

Tab. 2.5 – Lista de planos de subensamble.

Descripción	Enlace	Demo
Plantilla de tesis LATEX	Github	PDF
Presente tesis de pregrado	Github	PDF
Datasets de peces (~10GB)	Github	–
Algoritmo de medición	Github	–
Algoritmo de detección y conteo basado en YOLOv3	Github-Fishv3	Demo-Web
Algoritmo de detección y conteo basado en YOLOv4	Github-Fishv4	Demo-Web
Visualización de capas de YOLOv3	–	Visualizador
Visualización de capas de YOLOv4	–	Visualizador
Prototipo de aplicativo móvil	–	FigmaDemo
Simulaciones estructurales	Github	–

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Planos del sistema

Los planos permiten visualizar el sistema de una forma en particular dependiendo del tipo de plano. El código asociado a cada plano indica el tipo de plano, su nivel respecto a la estructura general: ensamble, subensamble o despiece, y el tamaño de página usado para dicho plano. En las Tablas 2.6 y 2.7 se detalla el código junto con la descripción. Dónde: *E* es Ensamble, *SE* es Subensamble, *D* es despiece, los dígitos seguidos son alfanuméricicos que van del 0 a la Z y su agrupación es similar a la organización en cascada, y finalmente el tamaño de página.⁶

2.3.1 Lista de planos de ensamble

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

-
5. Estándar ISO detallado. Antecesor: 8257-1:1998. Estándar ASTM: D788-96
 6. Por ejemplo: D4587-A3 sería un despiece para el componente que pertenece al subensamble 4000, dentro del dispositivo 0500 y 0080. Además de ser el séptimo componente dentro del dispositivo.

tipo de material y cantidad de componentes similares.⁷ En la Tabla 2.6 se muestra la lista de planos de ensamble, subensambles y subsubensambles.

Tab. 2.6 – Lista de planos de ensamble y subensamble sistema.

Código de Plano	Descripción
E1000-A0	Ensamble total
SE1100-A0	Subsistema de recepción de truchas
SE1200-A2	Subsistema de distribución de truchas
SE1300-A0	Subsistema de traslado de truchas
SE1400-A0	Subsistema de procesamiento de imágenes
SE1500-A2	Subsistema de control e interacción con el usuario
SSE1110-A3	Tolva de recepción
SSE1210-A3	Distribuidora 1:3
SSE1310-A3	Tuberías
SSE1510-A3	Panel de control - Caja de control 1
SSE1520-A3	Panel de control - Caja de control 2

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Plano de despiece

El plano de despiece presenta las características técnicas de cada pieza: muestra dimensiones para poder fabricar la pieza. En el presente trabajo se administran, además, subensambles con la finalidad de brindar mayor detalle a cada componente. En la Tabla 2.7 se muestra la lista de planos de despiece.

7. Adaptado de Goetsch et al. (2010)

Tab. 2.7 – Lista de planos de subensamble.

Código de Plano	Descripción
D1010-A3	Estructura de soporte
D1120-A1	Tolva de recepción - Borde
D1130-A3	Tolva de recepción - Base de salida
D1211-A1	Distribuidora 1:3 - Pared A
D1212-A1	Distribuidora 1:3 - Pared B
D1213-A3	Distribuidora 1:3 - Tapa de distribuidora
D1214-A3	Distribuidora 1:3 - Leva de distribuidora
D1215-A3	Distribuidora 1:3 - Lengüeta de salida de tubería
D1216-A3	Distribuidora 1:3 - Lengüeta de soporte de servomotor 1
D1217-A3	Distribuidora 1:3 - Lengüeta de soporte de servomotor 2
D1218-A3	Distribuidora 1:3 - Compuerta mecánica
D1311-A3	Tuberías - Adaptador de entrada de bomba de agua
D1312-A3	Tuberías - Adaptador de salida de bomba de agua
D1313-A3	Tuberías - Adaptador de electroválvula
D1411-A3	Procesamiento de imágenes
D1412-A3	Procesamiento de imágenes - Tubería
D1413-A3	Procesamiento de imágenes - Soporte de cámara estéreo
D1414-A2	Procesamiento de imágenes - Soporte de espejos
D1501-A3	Panel de control - Soporte

Fuente: Elaboración propia.

2.4 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.

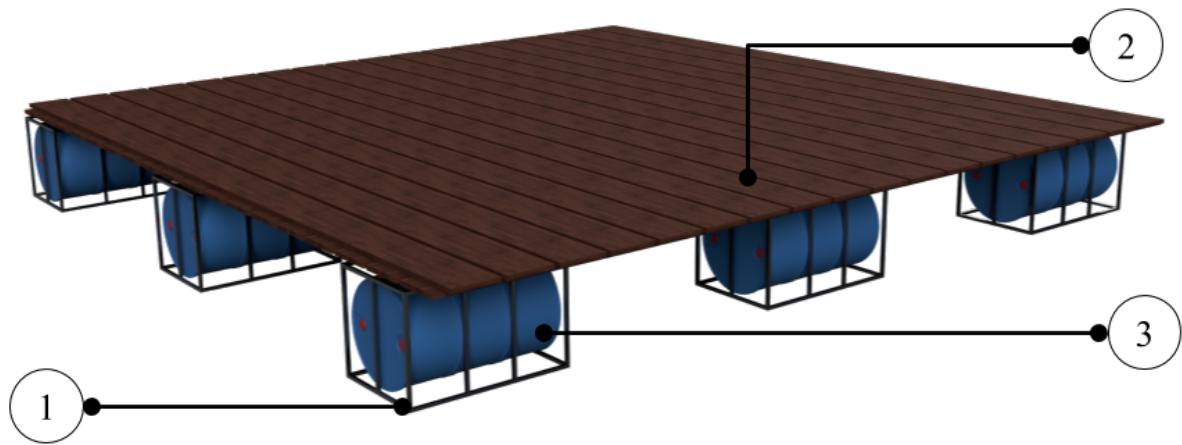


Fig. 2.3 – Subsistema de flotación

Leyenda: (1) armadura de cilindro de flotación; (2) superficie de madera y marco de metal interior; (3) cilindro de flotación.

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Sistema para mantener a flote el sistema

La plataforma flotante de 5x5 m. que se muestra en la Figura 2.3 es empleada por las empresas en el sector de crianza de truchas en lagunas por su flotabilidad y área útil que brinda a los operarios. En el caso de la CCT, ocupa un área pequeña de 2.5x1m pero con un peso aproximado de 260 kg. Por lo que, como se muestra en la Figura 2.4, se agregan refuerzos para evitar que la CCT se desplace libremente.

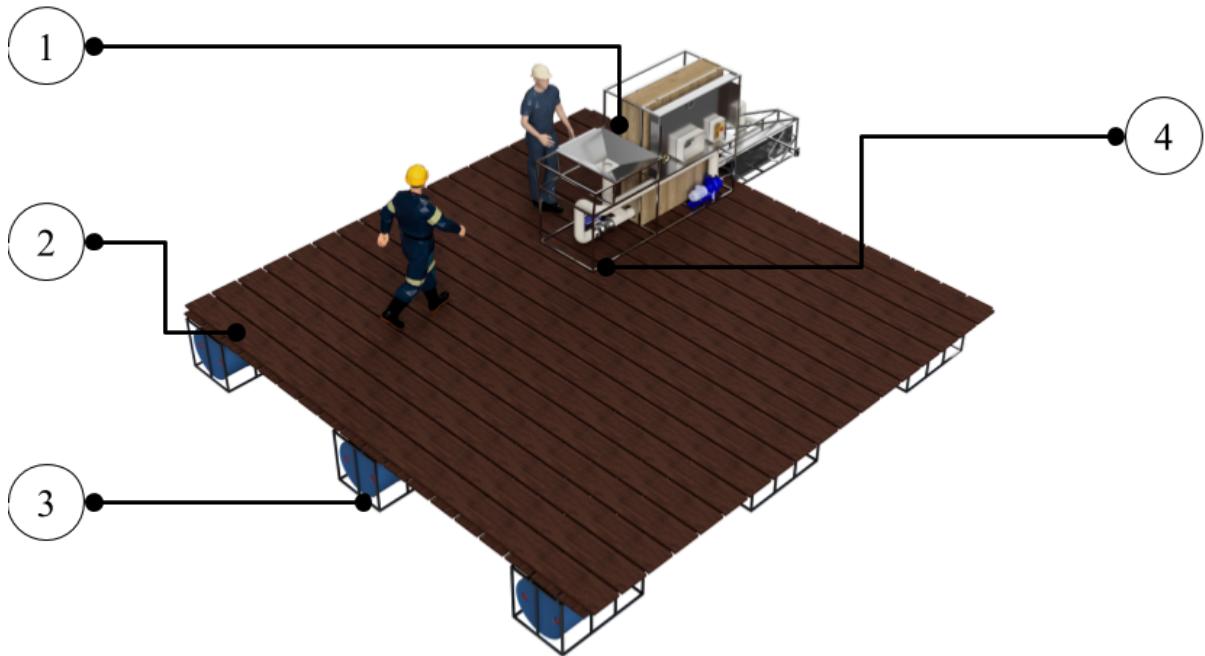


Fig. 2.4 – Fuerzas necesarias para mantener a flote el sistema

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2.4 se enumeran los principales elementos: 1. Máquina CCT; 2. Plataforma de madera con refuerzo de marco de acero interior; 3. cilindros con armazón que sirven de flotación; 4. Lugares de refuerzo para fijación a la plataforma de madera. Cabe resaltar que en el presente trabajo no se considera el sistema de flotación dentro del presupuesto, sino que sirve de manera expositiva sobre cómo es que funciona y de qué materiales usualmente está hecho, esto se expone debido a que la problemática se desarrolla en la Laguna de Paucarcocha y usualmente las empresas de producción acuícola poseen este tipo de plataformas que les sirve para otros procesos como los de repartir comida o realizar procesos manuales.

Capítulo 3

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.

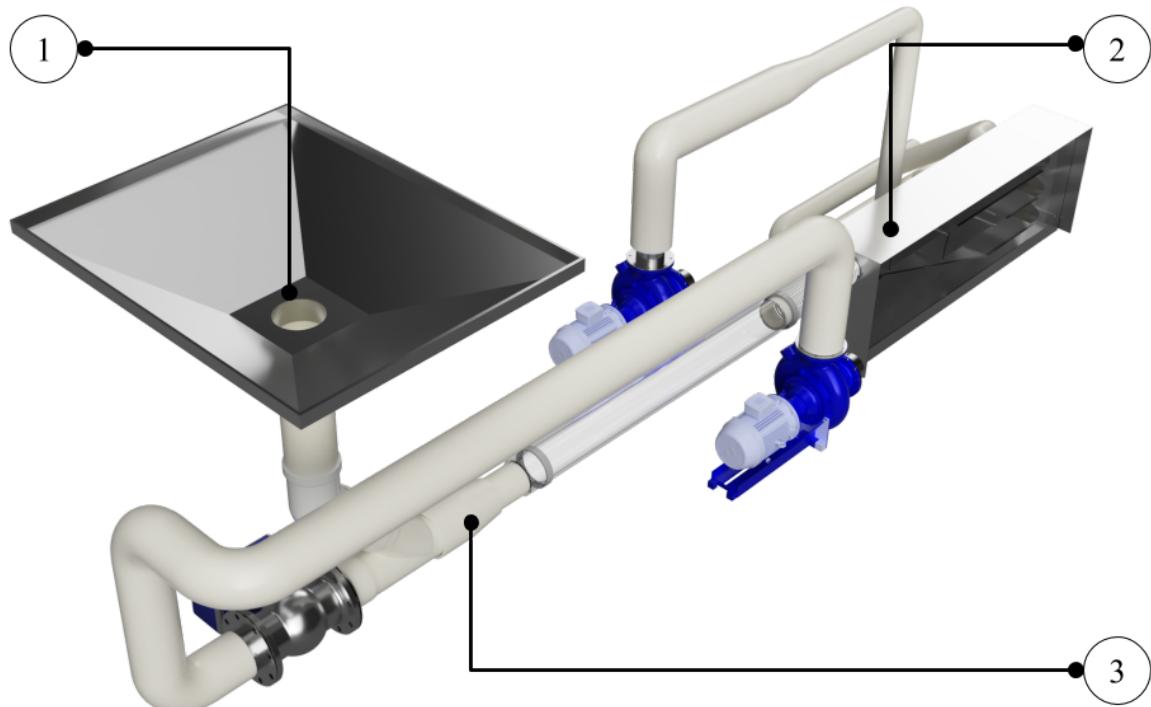


Fig. 3.1 – Subsistema de recepción, distribución y traslado de truchas

Leyenda: Subsistemas de (1) recepción; (2) distribución; (3) distribución.

Fuente: Elaboración propia.

3.1 Diseño del subsistema de recepción de truchas

El subsistema de recepción de truchas se encarga de únicamente a recopilar las truchas mediante una tolva como se muestra en la Figura 3.2.

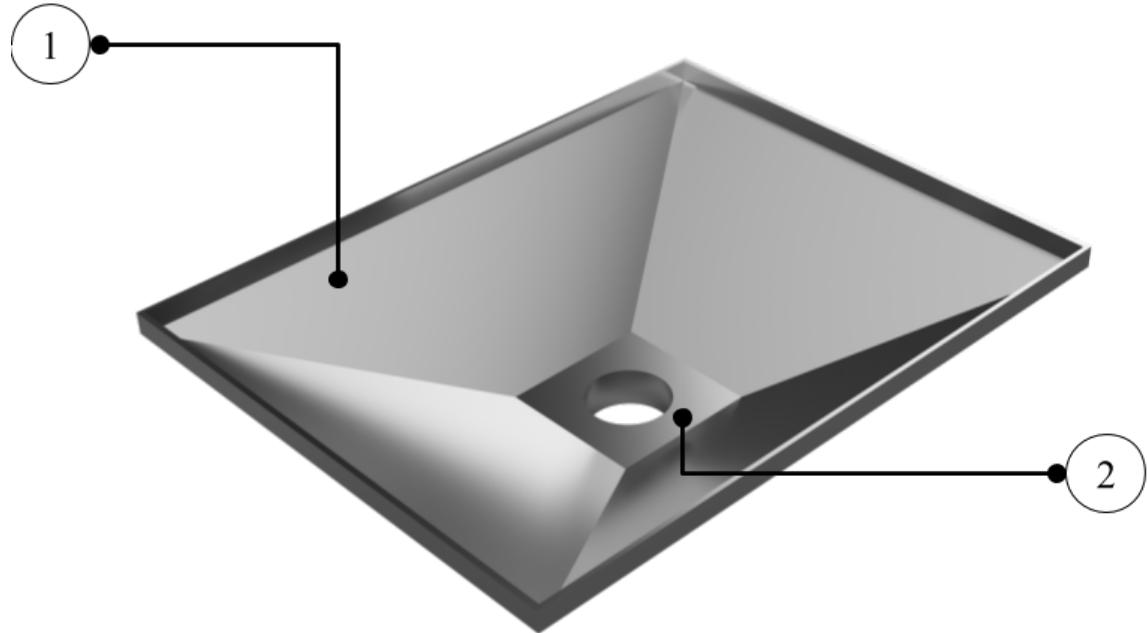


Fig. 3.2 – Mecanismo de distribución de truchas

Leyenda: (1) borde de tolva; (2) base de tolva.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Cálculos dimensiones 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 3.3 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.

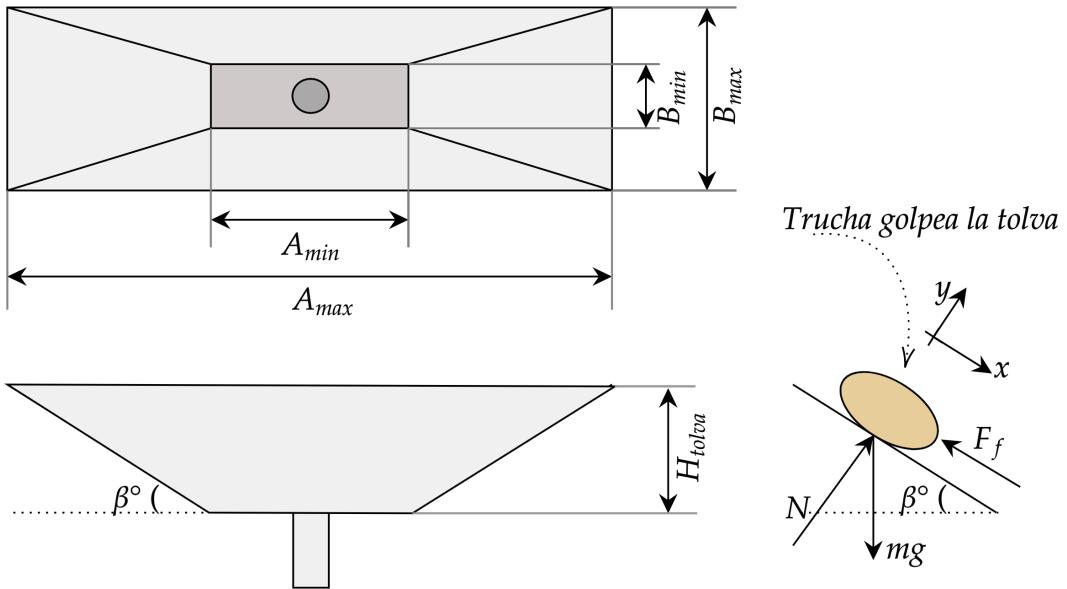


Fig. 3.3 – Cálculo de dimensiones y ángulo de la tolva

Fuente: Elaboración propia.

Parte de la Figura 3.3 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 3.2. Las leyes de Newton se muestran en la Ecuación 3.1.

$$\begin{aligned} F_R &= m * a \\ \sum_0^n F_{x,y,z} &= 0 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned} F_f &= \mu * N \\ \sum F_y &= N - mg * \cos(\beta) = 0 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Luego, se reemplazan la Ecuación 3.2 en la Ecuación 3.1 y se obtiene la Ecuación 3.3. La variable a despejar es la aceleración en el eje x (\ddot{x}).

$$\begin{aligned} mg * \sin(\beta) - F_f &= m * \ddot{x} \\ mg * \sin(\beta) - \mu_k * mg * \cos(\beta) &= m * \ddot{x} \\ g * \sin(\beta) - g * \mu_k * \cos(\beta) &= \ddot{x} \end{aligned} \tag{3.3}$$

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 3.4 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 2.1.2. Consecuentemente, se calculan los valores de $A_{max} \approx 900mm.$ y $B_{max} \approx 700mm.$, respectivamente.

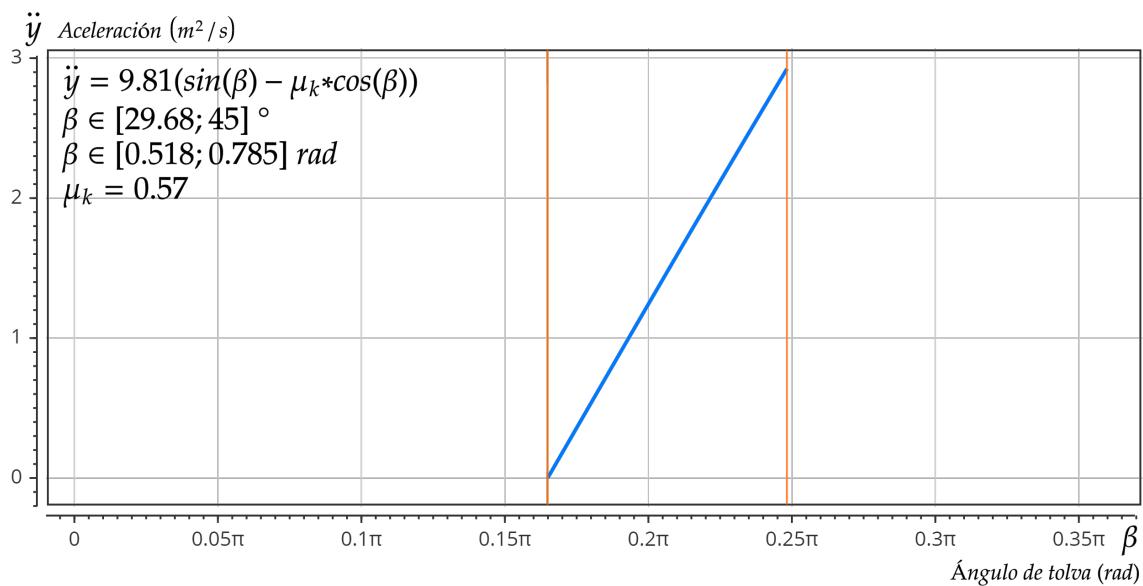


Fig. 3.4 – Ángulo de tolva vs aceleración en la trucha

Fuente: Elaboración propia.

3.2 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 las Figuras 3.5 y 3.6. Dicho mecanismo recibe a la trucha por una única entrada y redirige mediante un juego de compuertas a tres salidas. Finalmente, las truchas son impulsadas al ingresar a tuberías con caudal de agua constante que las transporta hasta las jaulas flotantes correspondientes.

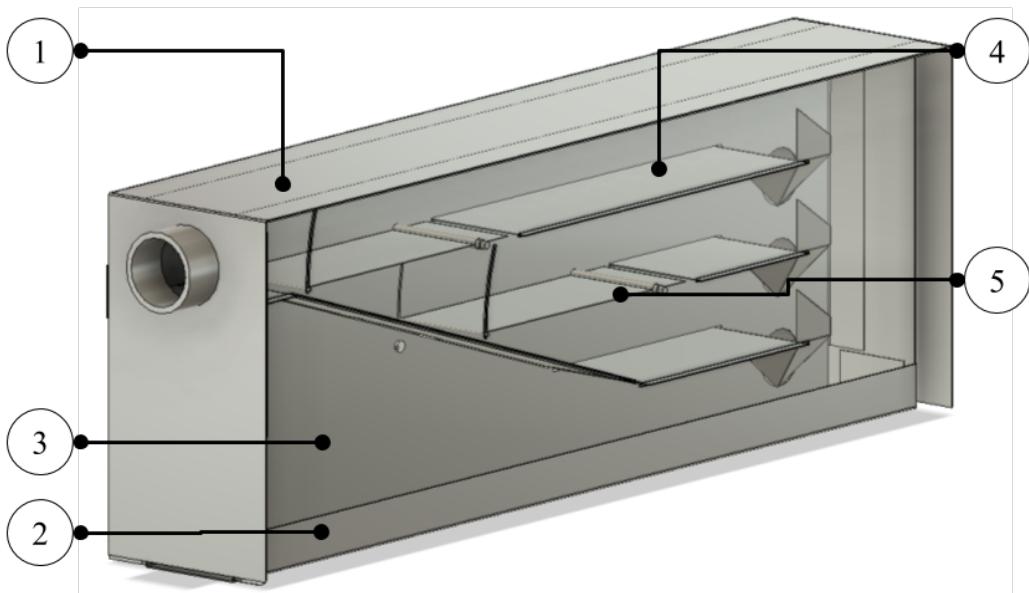


Fig. 3.5 – Mecanismo de distribución de truchas - Vista isométrica

Leyenda: (1) placa tipo tapa; (2) pared a de la distribuidora; (3) pared b de la distribuidora; (4) placa intermedia;
 (5) mecanismo de compuerta¹

Fuente: Elaboración propia.

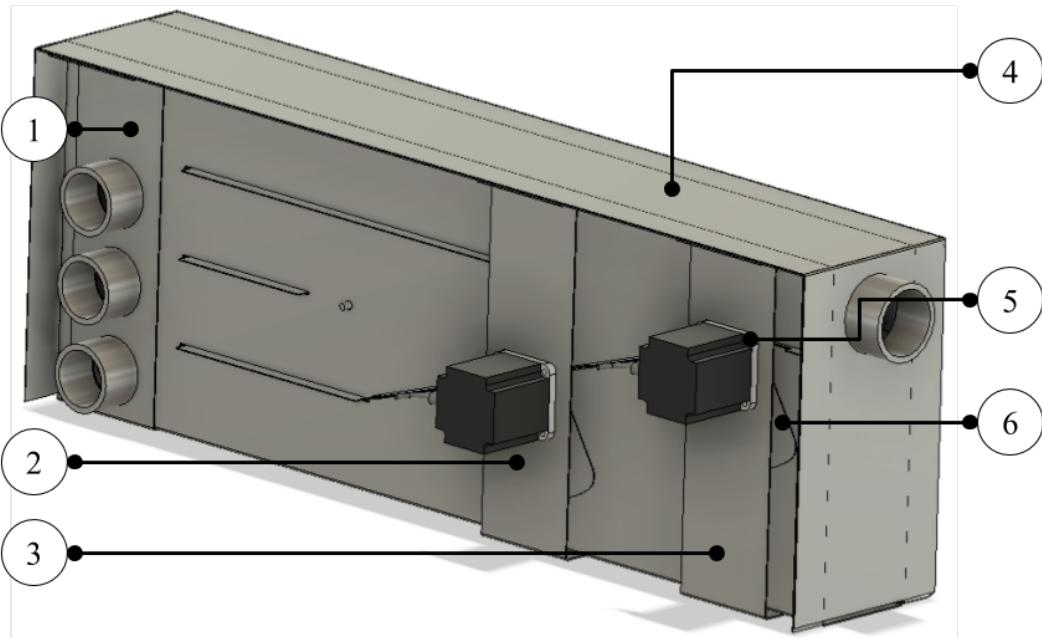


Fig. 3.6 – Mecanismo de distribución de truchas - Vista isométrica opuesta

Leyenda: (1) lengüeta de salida; (2) lengüeta de servomotor 2; (3) lengüeta de servomotor 1; (4) placa tipo tapa;
 (5) servomotor; (6) leva.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 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 3.1 y los conceptos de mecanismos analizados se muestran en la Figura 3.7.

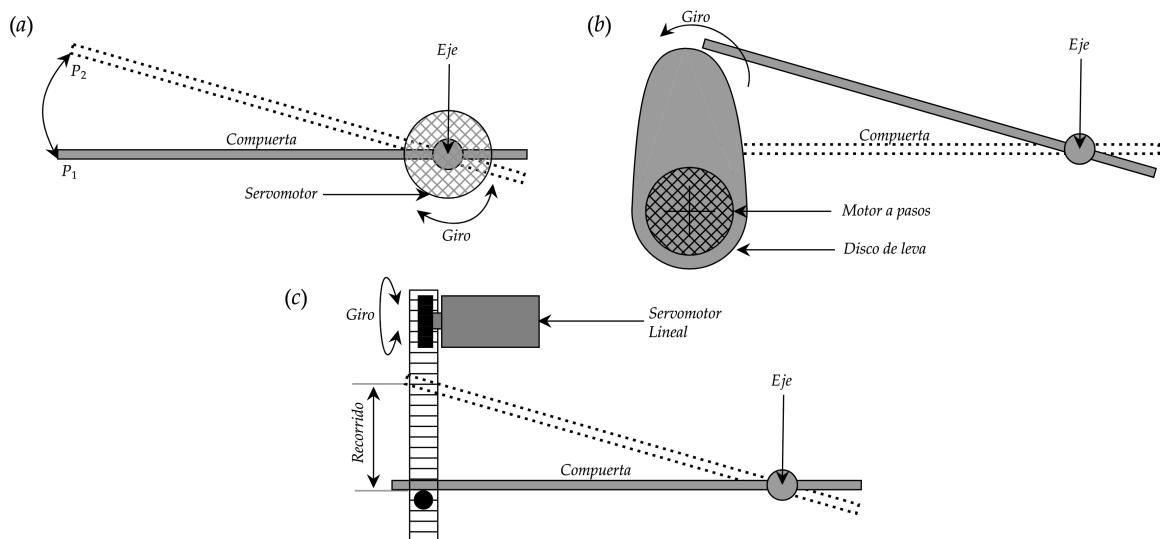


Fig. 3.7 – (a) Mecanismo de eje servomotor. **(b)** Mecanismo de tolva y seguidor. **(c)** Mecanismo de servomotor lineal.

Fuente: Elaboración propia.

El mecanismo inicialmente propuesto (Figura 3.7-a) corresponde a un servomotor conectado al eje de la compuerta del sistema de distribución, los apoyos no son representados en las figuras. El sistema, al efectuar cierta cantidad de giros en un periodo largo² presenta un deterioro considerable en el eje del servomotor, por lo que se analiza un mecanismo de leva-seguidor (Figura 3.7-b) que traslada el giro fuera del eje, en un solo sentido y se aplica el giro sobre un extremo de la compuerta, el disco de leva está posicionado para brindar un movimiento armónico al extremo de la compuerta. Así también, se considera un mecanismo de servomotor

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

lineal que mediante una traba en la cremallera desplaza la compuerta hasta la posición requerida mediante giros en los dos sentidos.

Tab. 3.1 – 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 mecánica³	1	1	2	2
Disponibilidad en el mercado⁴	-	Nacional	Internacional	Nacional
Torque máximo⁵ (τ_{max})	-	$\approx m * g * d_{eje}$	$\approx m * g * d_{leva}/2$	$\approx m * g * d_{ser}/4$
Acoplamiento al sistema⁶	1	1	2	3
Actuador que genera ruido⁷	-	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.

3.2.2 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 (3.8-b) y con ese fin se realiza un diagrama de cuerpo libre (3.8-a) que permite analizar las fuerzas sobre los cuerpos.

-
3. Basado en cantidad de componentes actuadores.
 4. Basado en el componente más "difícil" de conseguir. Calificación cualitativa: nacional o internacional
 5. 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. ($d_{ser} < d_{leva} < d_{eje}$)
 6. Basado en cantidad de componentes adicionales necesarios para implementar.
 7. Componente que genera sonido.

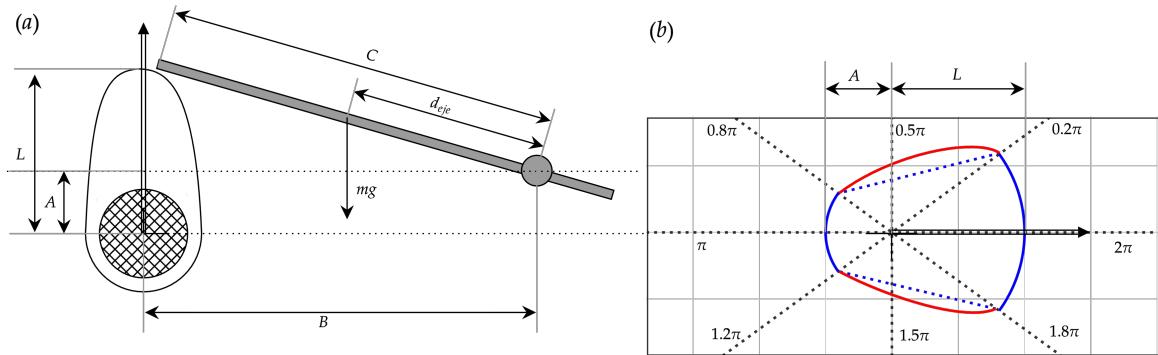


Fig. 3.8 – (a) Diagrama de cuerpo libre de mecanismo leva-seguidor. **(b)** Dimensiones del disco de leva.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño del disco de leva que se muestra en la Figura 3.8-b corresponde al posicionamiento requerido (línea azul) y a un posicionamiento óptimo (línea roja). Dicho posicionamiento versus el ángulo de giro se muestra en la Figura 3.9.

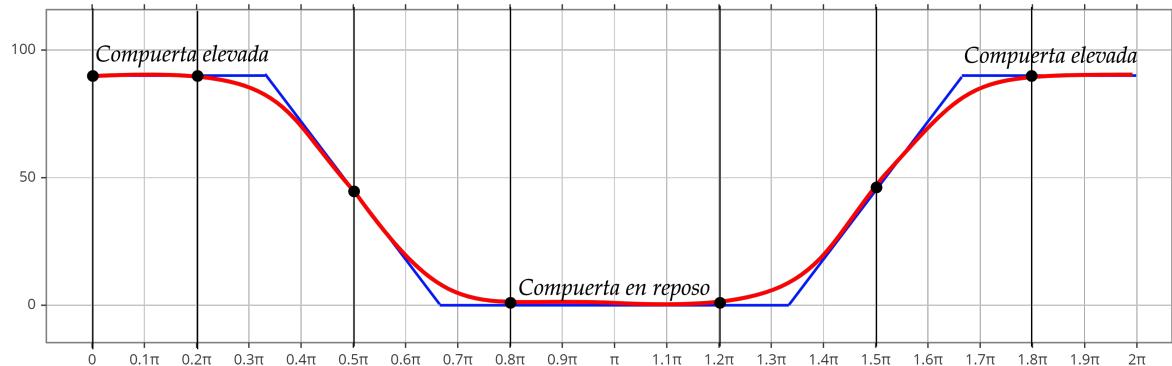


Fig. 3.9 – Engranajes del mecanismo de compuertas

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 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 3.10, la fuerza N representa la normal que se aplica debido al peso de la compuerta cuando se abre en giro horario. Además, donde: $[R_x, R_y]$ son reacciones en un determinado punto, en este caso sobre

el eje del disco de leva y de la compuerta, respectivamente; $[C, d_{eje}, L]$ son distancias; y $[mg \text{ y } N]$ son fuerzas a la que están sometidas las cuerpos.

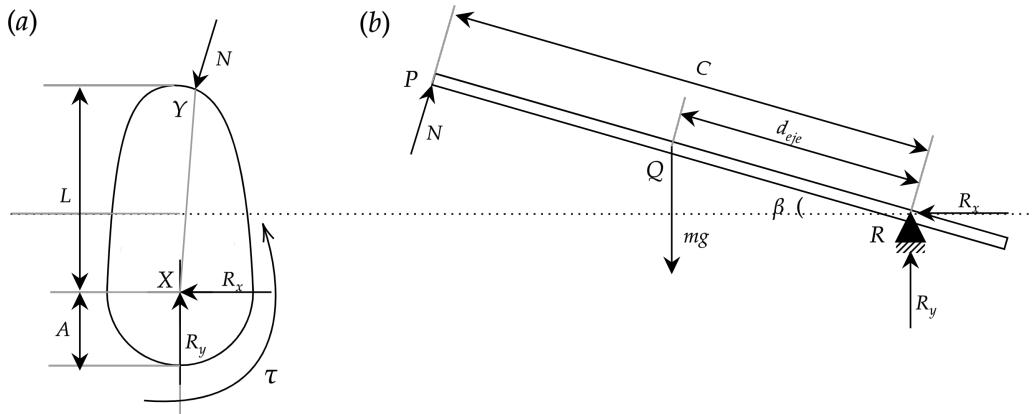


Fig. 3.10 – (a) DLC del disco de leva. (b) DLC de la compuerta.

Fuente: Elaboración propia.

Para hallar el valor de la fuerza N , en el DLC de la compuerta (Figura 3.10-b) se suma los momentos en el punto R como se expone en la Ecuación 3.4.

$$\sum M_R = m_{compuerta} * g * \cos(\beta) * d_{eje} - 2 * N * d_{eje} = 0 \quad (3.4)$$

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

Luego, analizamos realizamos la sumatoria de momentos en el punto X en el DLC del disco de leva que se muestra en la Figura 3.11.

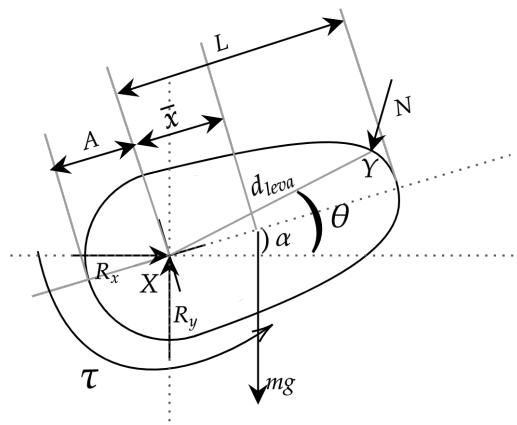


Fig. 3.11 – Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de la leva

Fuente: Elaboración propia.

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 3.5.

$$\sum M_X = -m_{leva} * g * \bar{x} * \cos(\alpha) + \tau - N * d_{leva} * (\cos(\beta)\cos(\theta) - \sin(\beta)\sin(\theta)) = 0 \quad (3.5)$$

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

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.

$$\bar{x} = \left(\frac{2 * \sin(0.2 * \pi) * (L - A)}{\pi} + 2 * \frac{L * \cos(0.2 * \pi) - A * \cos(\pi)}{3} \right) / 4 \quad (3.6)$$

$$\bar{x} = 54.23$$

$$m_{leva} = V_L * \rho_L = 39111.24 * 7.8 / 1000 \quad (AISI306 - e_L = 3mm) \quad (3.7)$$

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

$$m_{compuerta} = V_c * \rho_c = 41400 * 7.8 / 1000 \quad (AISI306 - e_L = 1mm) \quad (3.8)$$

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

$$N_{max} = \frac{m_c * g}{2} \quad (\beta = 0^\circ) \quad (3.9)$$

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

Reemplazando los valores de las Ecuaciones 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 en la Ecuación 3.5 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 3.10 se calcula el valor del par de fuerzas.

$$\tau_{max} = 0.305 * 9.81 * 0.054 + 0.12 * 0.322 * 9.81 / 2 \quad (3.10)$$

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

3.2.4 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 3.2 se muestra una comparación técnica entre tres motores a pasos que cumplen los requisitos mínimos.

Tab. 3.2 – 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.

3.2.5 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 3.3 se muestra el driver del motor escogido en la subsección

anterior.

Tab. 3.3 – 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.

3.3 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.

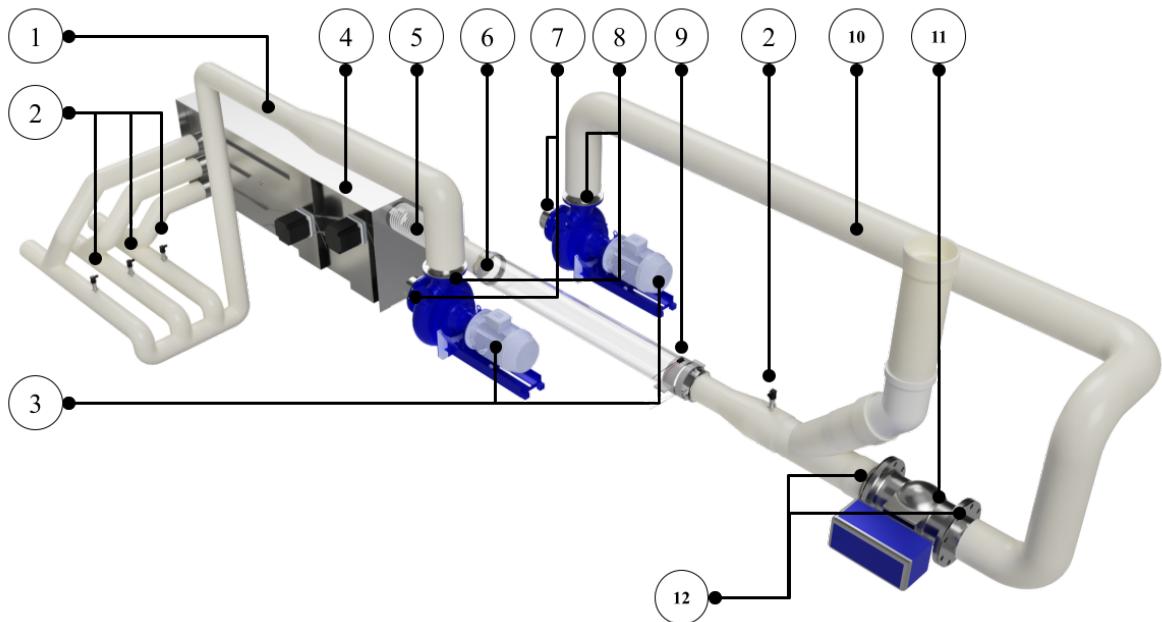


Fig. 3.12 – Mecanismo de distribución de truchas

Leyenda: (1) tubería secundaria; (2) sensores de presión; (3) bombas de agua; (4) distribuidora 1:3; (5) drenador de agua; (6) tubo transparente; (7) adaptador de entrada para bomba de agua; (8) adaptador de salida para bomba de agua; (9) sensor infrarrojo; (10) tubería principal; (11) electroválvula; (12) adaptador electroválvula.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1 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*⁸, se observa que las truchas de 10 a 20 cm. tienen un alto máximo de 60 a 90 mm.⁹

3.3.2 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.¹⁰ Se requiere un flujo laminar en el subsistema de procesamiento de imágenes, es decir, en la sección con tubo transparente en el

8. Referencia de Díaz Vergara (2020).

9. Distancia máxima entre aleta superior e inferior más alejada del cuerpo. En truchas de 30 cm. dicha distancia puede llegar hasta 135 mm.

10. Extraído de INTECH GmbH (2020).

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 horizontal¹¹. 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 3.11.

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

$$Re = \frac{999.7 * 2.1 * 0.0889}{0.001307} \quad (3.11)$$

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

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. En la Figura 3.13 se muestra el diagrama de Moody.

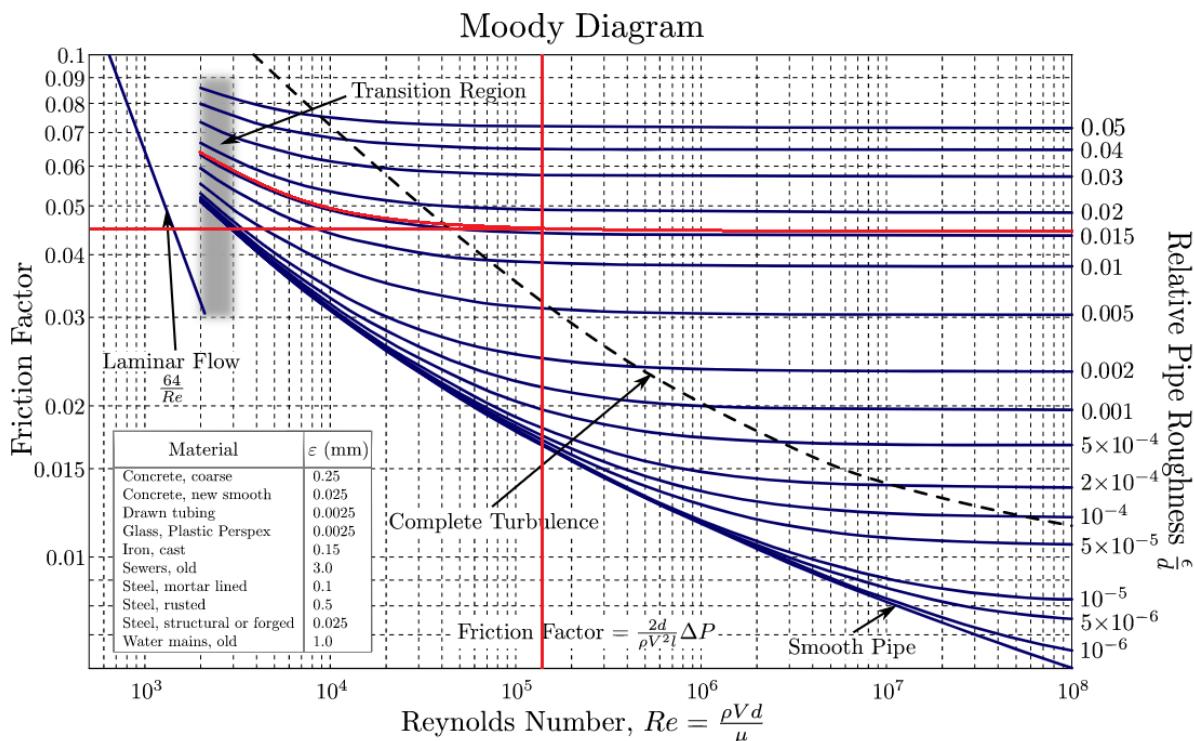


Fig. 3.13 – Calculo de coeficiente de rozamiento usando diagrama de Moody.

Fuente: Janna (2015).

11. Flujo de agua dentro de una tubería que abarca toda la sección y genera pequeñas burbujas de aire.

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 de rozamiento (λ).

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 3.12.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log\left(\frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71 * d}\right) \quad (3.12)$$

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 3.14 expone un recorrido horizontal del agua en el sistema, por lo que en la Ecuación 3.13 se calcula el caudal requerido a la salida.

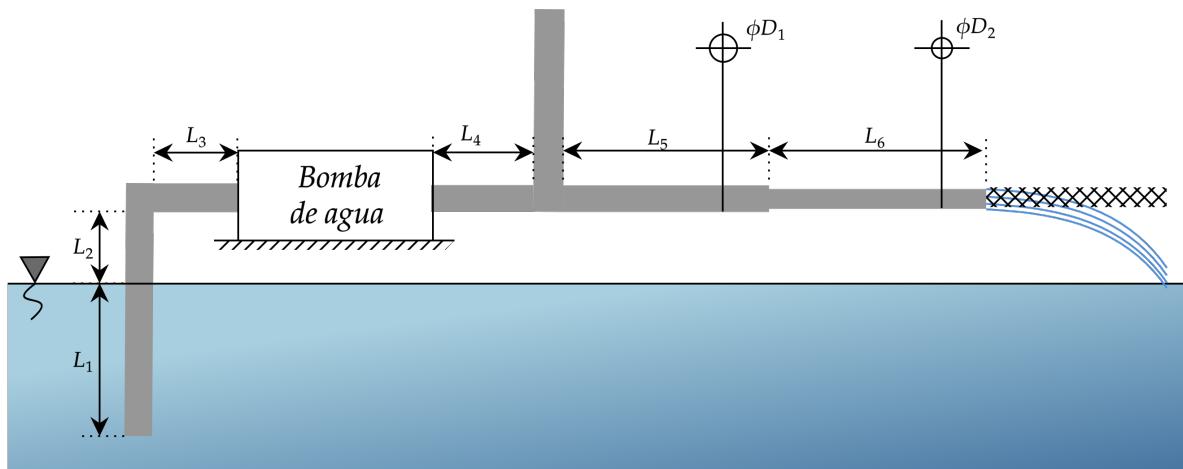


Fig. 3.14 – Diagrama de tuberías.

Fuente: Elaboración propia.

$$Q = A * v$$

$$Q = \frac{\pi * 0.0762^2}{4} * 2.1 \quad (3.13)$$

$$Q = 0.00957 \text{ (m}^3/\text{s)} = 13.064 \text{ (L/s)}$$

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

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 3.14 se calcula la pérdida de carga en la tubería horizontal.

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

$$h_L = f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} + K_{Lr} \frac{v^2}{2g} + K_{Lu} \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} + K_{Lr} \frac{v^2}{2g} + 0.42 \left(1 - \frac{D_2}{D_1}\right) \frac{v^2}{2g} \quad (3.14)$$

$$h_L = 0.0087 \frac{2}{0.089} \frac{2.1^2}{2(9.81)} + 0.08 \frac{2.1^2}{2(9.81)} + 0.42 \left(1 - \frac{0.089}{0.076}\right) \frac{2.1^2}{2(9.81)}$$

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

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_{Lr} es el coeficiente de pérdida por unión y K_{Lu} 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 3.15.

$$p_b - p_s = \rho g(z_2 - z_1) + \rho g h_L$$

$$p_b - 101.32 = 441.31 \quad (3.15)$$

$$p_b = 542.63 \text{ (kPa)}$$

$$p_b \approx 550 \text{ (kPa)} \approx 80 \text{ (psi)}$$

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 3.16.

$$\begin{aligned} h_{NPSH} &= 2.31 * \frac{p_b}{SG} \\ h_{NPSH} &= 2.31 * \frac{80}{9.804} \\ h_{NPSH} &= 18.85 \text{ (m)} \\ h_{NPSH_{req}} &\approx 20 \text{ (m)} \approx 65 \text{ (ft)} \end{aligned} \tag{3.16}$$

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 $10^\circ C$. Finalmente, se ingresa los requisitos mencionados al seleccionador de bombas de agua online de la empresa Hidrostal¹²: la empresa retorna un modelo de bomba de agua D03R-EHN con un motor DEYS4 que cumple con la certificación ISO 9906:2012 Grado 3B¹³. Además, mencionar que el consumo de potencia es de 2.1 kW , trabaja a una velocidad de 1435 rpm con una eficiencia del 69.8% y que puede variar el caudal de 10 a 24 L/s .¹⁴

3.3.3 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 3.4 se muestran algunos modelos comerciales que cumplen con estos requerimientos.

-
12. 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.
 13. Más detalles en <https://www.iso.org/standard/41202.html>.
 14. Hoja de datos (Datasheet) en el Anexo.

Tab. 3.4 – Tabla comparativa de electroválvulas

	Requisitos mínimos	2W	CTB100	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	-	Solenoid	Mariposa	Solenoid
Certificados	-	ISO 9001:2008	-	-
Consumo de potencia (W)	-	-	100	-
Temperatura operativa (°C)	[-10; 40]	[-25; 60]	[-25; 60]	[-20 ; 43]
Peso aproximado (kg)	-	-	12	-
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 TF modelo CTB100 debido a que cuenta con un control más complejo al modelo 2W, que si bien su diseño es más simple el control se desplaza al microprocesador. Además, esta electroválvula cumple con el objetivo de regular la apertura de la compuerta que impide el paso de caudal de agua.

3.3.4 Selección de sensores de presión

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 3.5 se presenta una comparación técnica de los sensores de presión.

Tab. 3.5 – 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
Precisión (Pa)	-	-	5000	-
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.

Capítulo 4

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.

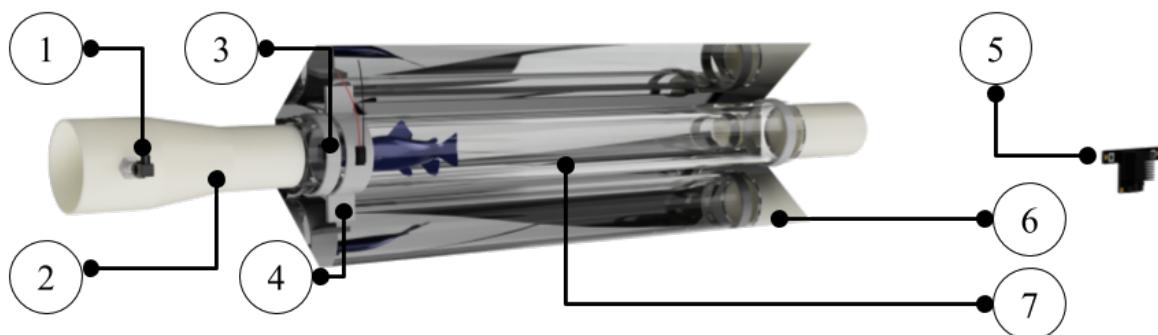


Fig. 4.1 – Subsistema de procesamiento de imágenes

Leyenda: (1) sensor de presión; (2) reductor de tubería; (3) sensor infrarrojo; (4) adaptador y sensor infrarrojo; (5) cámara estéreo a cierta distancia perpendicular; (6) juego de espejos; (7) tubo transparente.

Fuente: Elaboración propia.

4.1 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 el globo número 4 con su adaptador para la tubería en la Figura 4.1.

Ya que los haces de luz cambian de dirección debido a la refracción¹, 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 4.2.

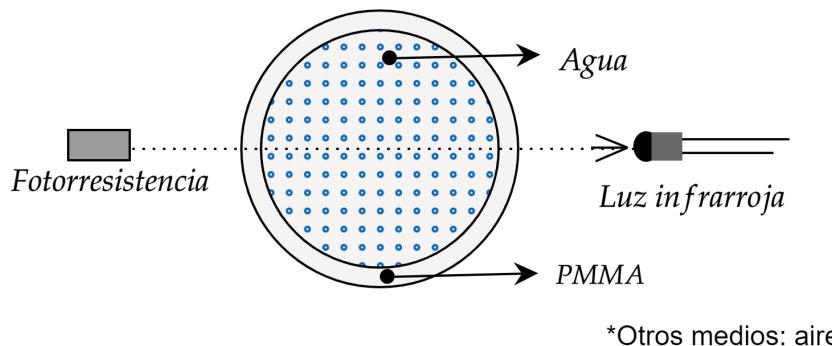


Fig. 4.2 – Análisis de posición de luz infrarroja

Fuente: Elaboración propia.

El problema se muestra en la Figura 4.3. Cabe mencionar que se conocen los siguientes valores $n_{PMMA} = 1.5^2$, $n_{aire} \approx 1$, $n_{agua} = 1.33^3$, $d_1 = d_2 = 10mm.$, $e = 3mm.$ y $d_{int} = 85mm.$, y se asume, para simplificar el problema, la emisión de la luz como proveniente de un punto único (S).

-
1. Hecht (2017).
 2. Propiedades ópticas mostradas en la Tabla 2.2. Berins (1991)
 3. Índices de refracción: Hecht (2017).

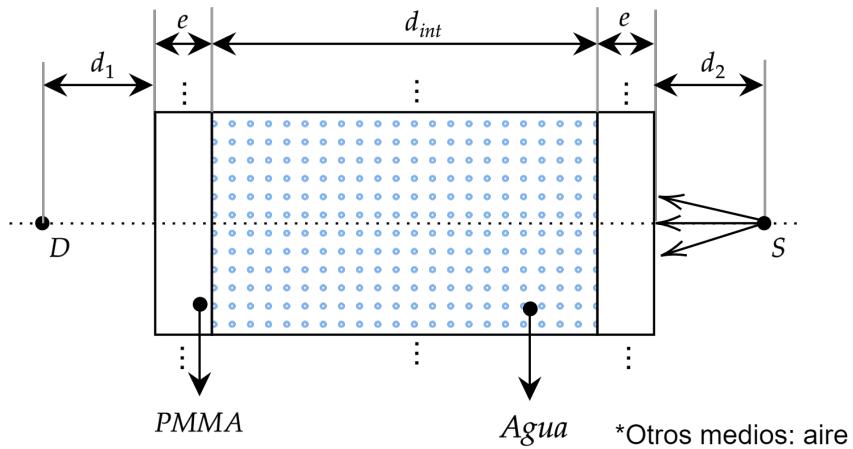


Fig. 4.3 – Cálculo de posición de luz infrarroja

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de desviación de los haces de luz se emplea la ley de refracción, matemáticamente mostrada en la Ecuación 4.1. 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.

$$n_i * \sin(\theta_i) = n_t * \sin(\theta_t) \quad (4.1)$$

En la Figura 4.4 se analiza el caso crítico cuando $\theta_1 \approx 5^\circ$. Con la Ecuación 4.1 se puede calcular las distancias de desviación por refracción. Por ejemplo, En la Ecuación 4.2 el valor de h_x es la distancia proyectada: $h_x = d_x * \tan(\theta_x)$.

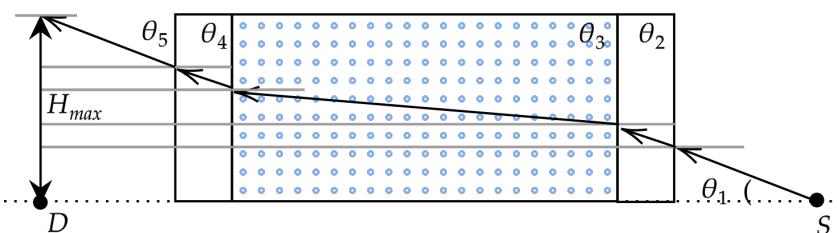


Fig. 4.4 – Cálculo de distancia máxima de desviación de haz de luz en condiciones ideales.

Fuente: Elaboración propia.

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

$$H_{max} = 10 * \tan(\theta_1) + 3 * \tan(\theta_2) + 85 * \tan(\theta_3) + 3 * \tan(\theta_4) + 10 * \tan(\theta_5) \quad (4.2)$$

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

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

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.⁴ 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 4.1.

Tab. 4.1 – 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 4.1 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 máxima

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

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.

4.2 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.

4.2.1 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 4.5. Donde: d es la distancia entre el juego de espejos y la cámara, α es el HDFV⁵, β es el VDFV⁶, A es la altura del área proyectada y L es la largo del área proyectada del juego de espejos.

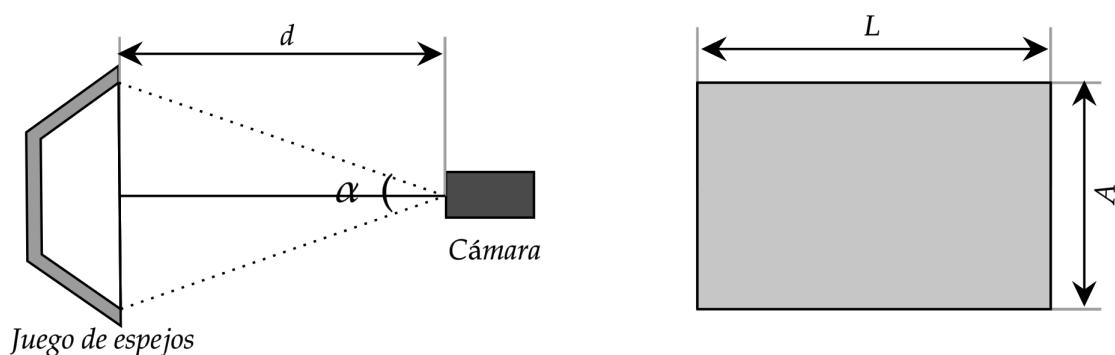


Fig. 4.5 – Distancia entre juego de espejos y cámara estéreo

Fuente: Elaboración propia.

-
- 5. Campo de visión horizontal.
 - 6. Campo de visión vertical.

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 como se muestra en la Ecuación 4.4 y 4.3, respectivamente.

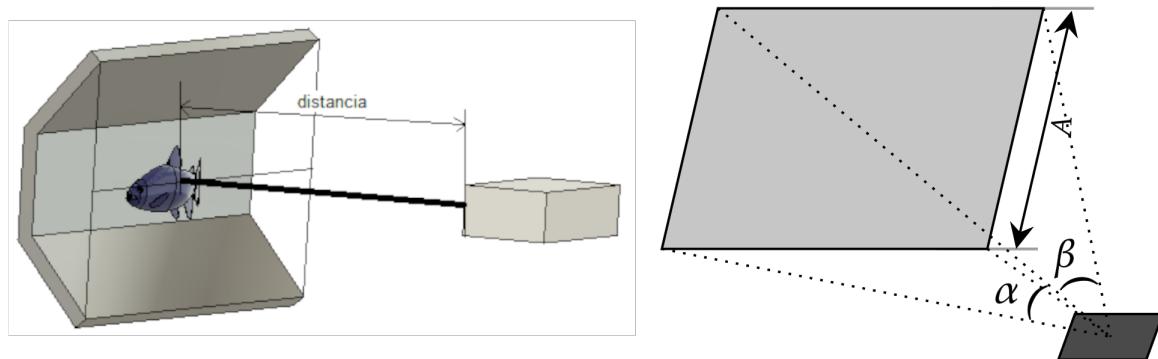


Fig. 4.6 – Cálculo de distancia apropiada para la cámara estéreo

Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{aligned} \tan(\alpha_{min}/2) &= \frac{A/2}{d} \\ \alpha_{min} &= 2 * \arctan\left(\frac{A}{2 * d}\right) \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \tan(\beta_{min}/2) &= \frac{L/2}{d} \\ \beta_{min} &= 2 * \arctan\left(\frac{L}{2 * d}\right) \end{aligned} \quad (4.4)$$

4.2.2 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 4.7 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 análisis⁷.

7. 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

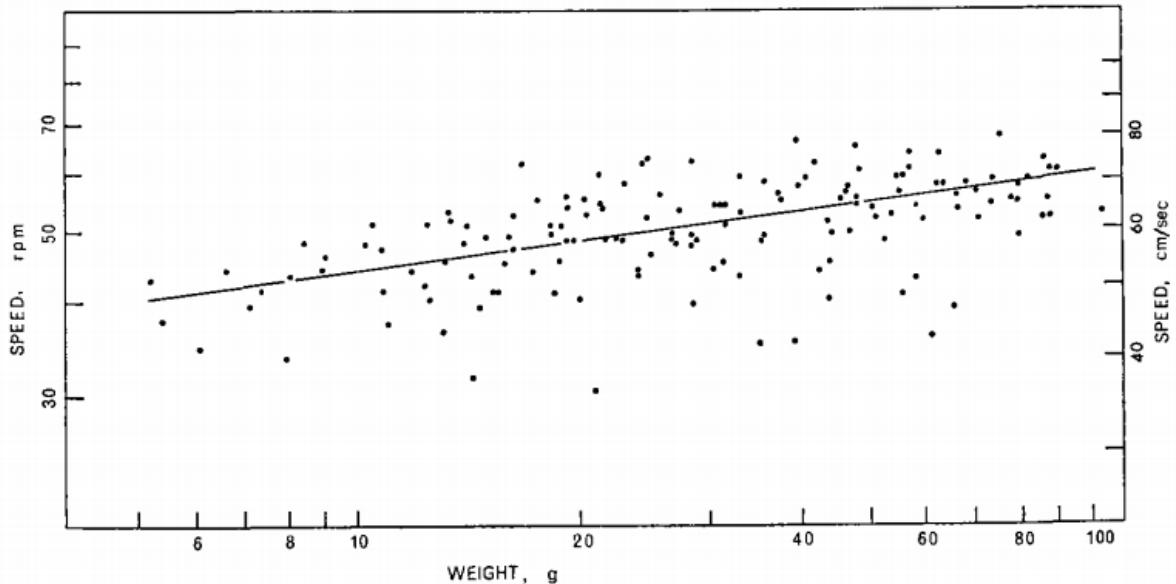


Fig. 4.7 – Aproximación lineal de la relación entre peso y la velocidad de nado de truchas arcoíris

Fuente: Fry & Cox (1970)

En la Ecuación 4.5 se muestra la relación (regresión lineal) entre X : *peso de la trucha (g)* e Y : *velocidad de nado (cm/s)* con un error $Z= 0.033$.

$$Y \approx 0.2828 * X + 48 \quad (4.5)$$

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*⁸ 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 4.5 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 de visión y computadora por lo que la división de 1000/20 da un valor

8. Díaz Vergara (2020)

de $fps_{min} = 50$. Entonces, se realizarán aproximadamente 50 capturas de fotogramas en un segundo.⁹

4.2.3 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 4.8 se visualiza un diagrama referencial de una cámara estéreo, con la cuál podemos obtener distancias a partir de dos imágenes.

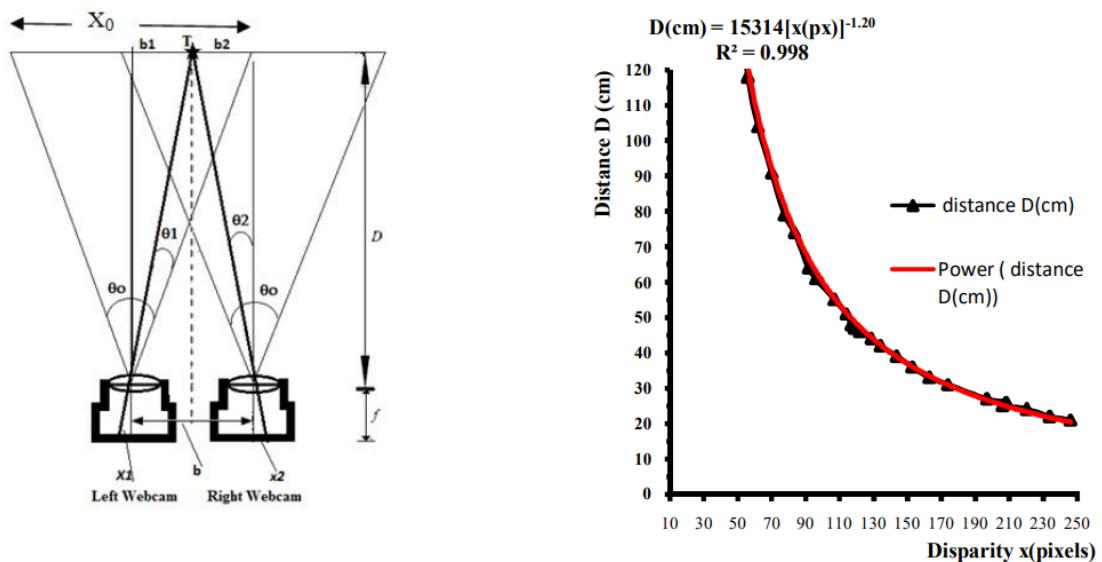


Fig. 4.8 – (Izq.) Diagrama esquemático de un objeto representado por dos cámaras alineadas horizontalmente separadas por una pequeña distancia. (Der.) Dependencia de la distancia del objeto en la disparidad.

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 4.9) del que este estudio se guía para la obtención de distancias más cercanas a

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

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. 4.9 – Pruebas de medición con distintas distancias al objeto.

Fuente: Zaarane et al. (2020)

En la Tabla 4.2 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. 4.2 – 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	1MP (1280x 800 px/3μm)	1MP (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)¹⁰	Adaptable	71.8, -, 81.0	70, 52.1, -,	100, 68.2, -
Procesamiento gráfico	-	MA2085 VPU ¹¹	Jetson Nano o Xavier NX	Raspberry Pi 3
Temperatura operativa	[-10;50]	[-30;60]	[-30;85]	[-30;85]
Soporte IA¹²	-	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.

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

La cámara escogida es la OAK-D debido a que cuenta con un sistema de obturación Global sincronizado¹³, 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.

4.2.4 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 4.3 así como las principales características de cada una.

Tab. 4.3 – 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 (4056×3040 px/1.55μm)	5MP (2592x 1944 px/2.2μm)	12MP (4056×3040 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 (HFDV,VFDV,DFDV)¹⁴	Adaptable	65.0, -, -	-	71.8, -, 81.0
Procesamiento gráfico	-	Jetson Nano o Xavier NX	Jetson Nano o Xavier NX	MA2085 VPU ¹⁵
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.

11. Movidius™ Myriad™ VPU. Enlace a unidad de procesamiento de visión.
12. Chips diseñados y optimizados para procesar detección de objetos mediante redes neuronales.
13. Superior al sincronizado dual para la tarea en el sistema.
14. HF DV: Campo de visión horizontal. VF DV: Campo de visión vertical. DF DV: Campo de visión diagonal
15. 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.

4.3 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 ($I_{min} = 500$).¹⁶

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, con la iluminación mencionada o mayor, puede mejorar el rendimiento de la cámara. En la Figura 4.10 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.¹⁷

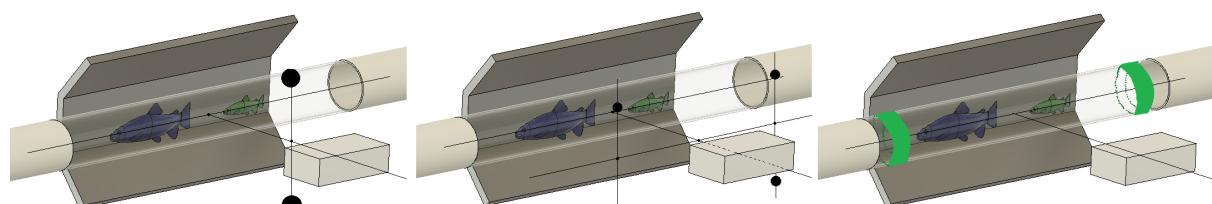


Fig. 4.10 – (Izq.) Iluminación con dos LEDs frente al sistema. (Cen.) Iluminación con cuatro LEDs frente al sistema. (Der.) Iluminación con dos tiras LEDs.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.4 se muestra una tabla técnica comparativa de tres opciones de tiras de leds

16. Selección de iluminación: Ryer (1997).

17. 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.

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. 4.4 – 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.

4.4 Selección de sensor de luz

Al sensar la luz, se establece un espectro de frecuencia a ser medido, en el presente caso se define como requerimiento el sensado de luz digital de un determinado rango en cuanto a

la intensidad y frecuencias. En la Tabla 4.5 se comparan dispositivos que cumplen con los requerimientos mínimos.

Tab. 4.5 – Tabla comparativa de sensores de iluminación.

	Requisitos mínimos	SI1445	TSL2561	VCNL4010
Figura	-			
Fabricante	-	Adafruit	Adafruit	Adafruit
Protocolo de comunicación	-	I2C	I2C	I2C
Voltaje operativo (V)	[0; 5]	[1.71; 3.6]	[2.7; 3.6]	[2.5; 3.6]
Temperatura operativa (°C)	[-10; 40]	[-40; 85]	[-30; 70]	[-25; 85]
Rango de medición (lx)	[0; 20000]	[0; 40000]	[0; 40000]	[0; 45000]
Resolución ADC (bit)	-	16	16	16
Resolución digital (lx)	100	0.10	0.11	0.25
Precio (\$/)	-	35.72	21.36	26.92

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 elige el sensor de luz con código TSL2561 debido a que satisface los requerimientos mínimos y presenta un precio inferior a los contrarios. Además, recalcar que el estudio no requiere un sensor de alta precisión sino uno que permita un adecuado funcionamiento del subsistema de procesamiento de imágenes.

4.5 Selección de algoritmo de clasificación y conteo

Existen diversas tecnologías para la clasificación y conteo¹⁸, en el presente trabajo se escoge e implementa redes neuronales. Los algoritmos de detección de objeto se dividen en sectores dependiendo de la aplicación: tiempo-real, post procesamiento y para imágenes 3D. Emplearemos el procesamiento en tiempo real para evitar un post-procesamiento. En la Tabla 4.6 se presenta una comparación técnica de la cantidad máxima de fotogramas, MAP¹⁹ y el

18. Detallado en "Estado del Arte" de Díaz Vergara (2020).

19. (*Max Average Precision*). Precisión máxima promedio hace referencia a la precisión obtenida en condiciones que permiten usar el modelo a la mayor cantidad de fotogramas.

tiempo de inferencia (t_{inf}) en milisegundos. Además, se adjunta la fecha de publicación de los modelos ya que este sector está evolucionando de manera rápida²⁰.

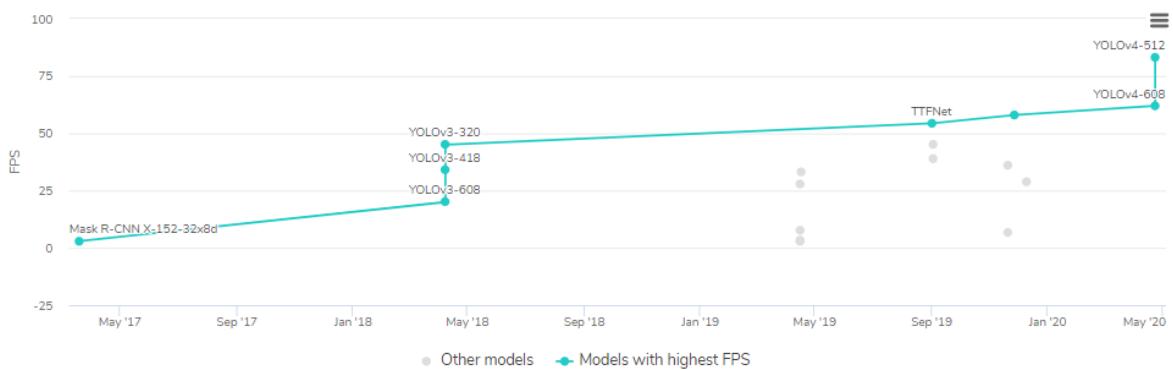


Fig. 4.11 – Comparación entre modelos de redes neuronales de detección de objetos en tiempo real usando el dataset "COCO".

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.6 se lista los diez modelos de redes neuronales junto con el *paper*, el *código*, el año en que fueron publicado y otras características técnicas. Estos modelos fueron ordenados de mayor a menor en cuanto a fotogramas obtenidos. Con el fin de obtener más fotogramas, se suele re-dimensionar las imágenes a procesar²¹.

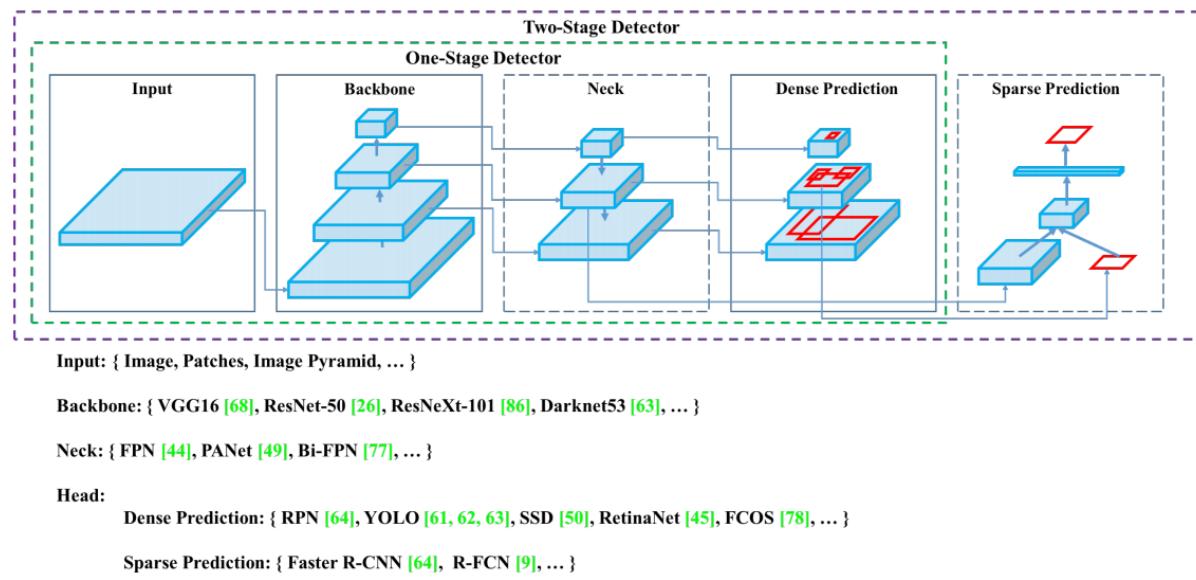
Tab. 4.6 – Tabla comparativa de algoritmos de detección de objetos en tiempo real ordenados por cantidad de fotogramas máximos obtenidos.

Puesto	Nombre de modelo	MAP	fps	t_{inf}	Nombre de paper	Paper y Código	Año
1	YOLOv4-512	43	83	12	YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection 512	P C	2020
2	YOLOv4-608	43.5	62	16	YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection 608	P C	2020
3	CSPResNeXt 50-PANet-SPP	33.4	58	17	CSPNet: A New Backbone that can Enhance Learning Capability of CNN	P C	2019
4	TTFNet	35.1	54.4	18.4	Training-Time-Friendly Network for Real-Time Object Detection	P C	2019
5	CenterNet HarDNet-85	43.6	45	22	HarDNet: A Low Memory Traffic Network	P C	2019
6	YOLOv3-320	-	45	22	YOLOv3: An Incremental Improvement	P C	2018

Fuente: Recopilación de ?.

- 20. Los modelos propuestos por investigadores usualmente son de libre uso, las tecnologías son de código abierto.
- 21. Usualmente a imágenes cuadras de 128,256,512 px.

Como se puede observar, la arquitectura *YOLO* aparece múltiples veces y esto se debe a que la comunidad científica ha aportado de forma desinteresada en su desarrollo: diversos autores han mejorado el modelo simple de la primera versión²². En la Figura 4.12 se muestra la arquitectura que obtiene la mayor cantidad de fotogramas manteniendo una precisión relativamente superior. La arquitectura de dos etapas: la primera etapa recibe la imagen y la procesa por redes para obtener características relevantes para luego, en la predicción densa, detecte los objetos en la imagen²³; en la segunda etapa, predicción escasa, se retiran los objetos que fueron detectados erróneamente y se prioriza los que tienen un porcentaje alto de similitud con los valores entrenados. Los desarrolladores de YOLO v4.0 (Figura 4.12) brindan los pesos de las neuronas entrenadas que se necesita para usar la red neuronal.



Fuente: Solawetz (2020)

La implementación de YOLO v4.0 en el sistema de CCT, en la etapa de desarrollo, está presente en un repositorio de Github²⁴. Dicho desarrollo emplea prácticas y software de in-

-
22. YOLO v1.0 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), (en desarrollo) YOLO v5.0 Bochkovskiy et al. (2020).
 23. Como se muestra en la Figura 4.12 la red neuronal YOLO se usa junto con más de otras 15 redes neuronales para aumentar el rendimiento.
 24. Código fuente en <https://github.com/DZPeru/cct1-development>

tegración y entrega continua (CI/CD²⁵) que disminuyen drásticamente el tiempo de desarrollo para ser probados en el menor tiempo posible. Además de esto, mencionar que los modelos pueden ser probados por cualquier persona con conexión a Internet debido al uso de containers²⁶. En la etapa de producción sin embargo, para obtener un mejor rendimiento, se realizaría una transcripción del código del lenguaje de programación Python a uno de bajo nivel como lo es el lenguaje C o C++.

Además de esto, en la Figura 4.13 se muestra las capas de la arquitectura de YOLOv3, y aunque es una red de menor rendimiento que ha sido superado por las versiones mostradas, es ampliamente usada en la industria debido a que las iteraciones de versiones de este tipo de algoritmos se dan en menos de un año.²⁷

Type	Filters	Size	Output
1x	Convolutional	32	3 × 3
	Convolutional	64	3 × 3 / 2
	Convolutional	32	1 × 1
	Convolutional	64	3 × 3
	Residual		128 × 128
2x	Convolutional	128	3 × 3 / 2
	Convolutional	64	1 × 1
	Convolutional	128	3 × 3
	Residual		64 × 64
8x	Convolutional	256	3 × 3 / 2
	Convolutional	128	1 × 1
	Convolutional	256	3 × 3
	Residual		32 × 32
8x	Convolutional	512	3 × 3 / 2
	Convolutional	256	1 × 1
	Convolutional	512	3 × 3
	Residual		16 × 16
4x	Convolutional	1024	3 × 3 / 2
	Convolutional	512	1 × 1
	Convolutional	1024	3 × 3
	Residual		8 × 8
		Avgpool	Global
		Connected	1000
		Softmax	

Fig. 4.13 – Arquitectura de detección de objetos de YOLOv3-512

Fuente: J. Redmon & Farhadi (2018)

-
- 25. *Integración Contínua/ Entrega continua.* Conceptos de desarrollo de software.
 - 26. Docker menciona que un container es "una unidad estándar de software que empaqueta el código y todas sus dependencias para que la aplicación se ejecute de forma rápida y confiable de un entorno informático a otro".
 - 27. La visualización de las capas de las redes neuronales son listadas en la sección 2.2.

4.6 Recopilación y etiquetado de imágenes

La recopilación de imágenes se realiza buscando bases de datos existentes sobre el término *salmon*, se verifican las imágenes y luego se procede a la etapa de etiquetado²⁸ para finalmente ser usado en el entrenamiento, testeo y validación de modelos de detección de objetos basados en redes neuronales. En total, se recopilaron y etiquetaron 1000 imágenes (Figura 4.14) que se escala a 2400²⁹ mediante algoritmos de aumento de datos³⁰, en este caso se empleó rotación de 90°, recorte y brillo debido a las condiciones se estima tendrá el prototipo al momento de capturar imágenes. Las condiciones del sistema previsto son menos rigurosas que para el modelo que se preparó el conjunto de datos, es decir, se resuelve un problema más complejo para brindar una solución más robusta. De las 2400 imágenes (100%) se reparten en tres secciones independientes: 2100 son para entrenamiento (70%), 200 para validación (20%) y 100 para testeo (10%).

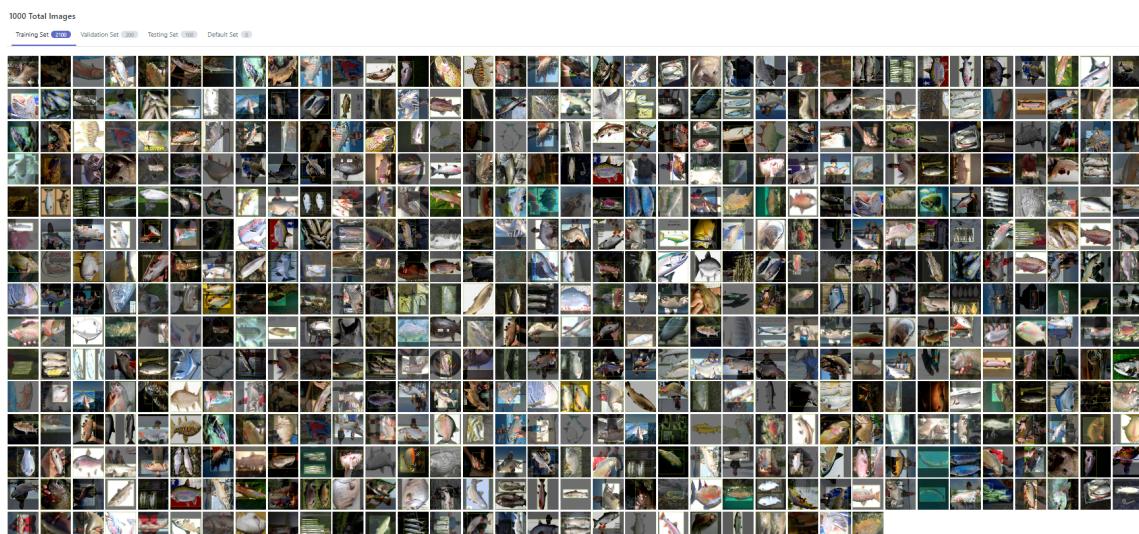


Fig. 4.14 – Porción de base de datos de imágenes recolectada FISH9003.

Fuente: Imágenes de dominio público.

-
28. Proceso comúnmente manual que consiste en encerrar en rectángulos el objeto asignándole una etiqueta. *Labelling*
 29. Se le asignó el código FISH9003, revise la sección 2.2 para más información.
 30. *Data augmentation*: aumentar imágenes mediante rotación, recorte, variación de brillo, variación de exposición, etc.

Capítulo 5

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.

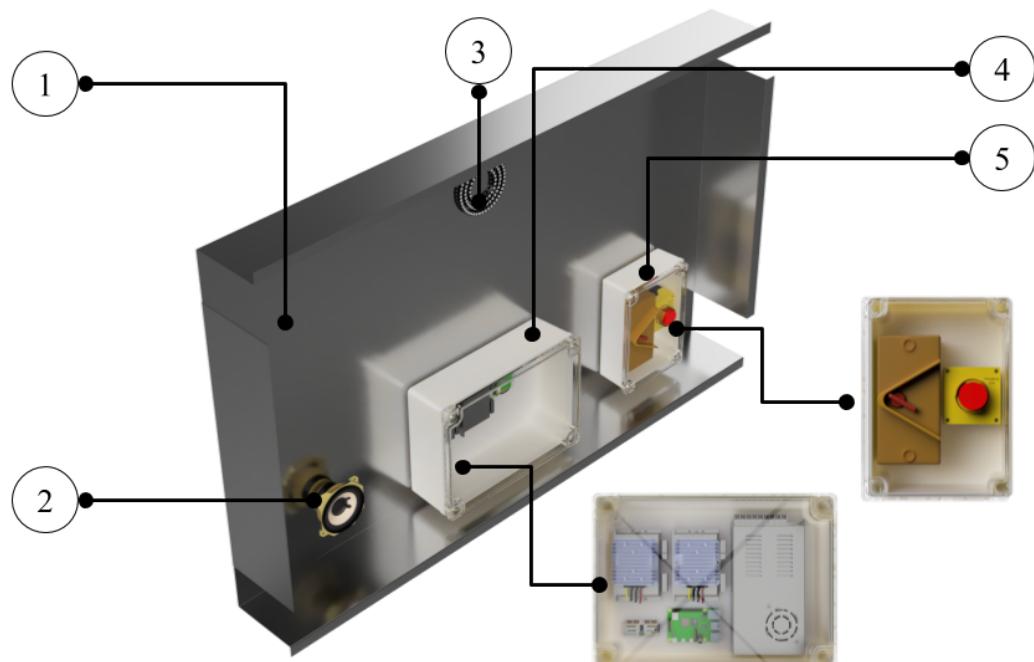


Fig. 5.1 – Subsistema de control e interacción con el usuario

Leyenda: (1) panel frontal; (2) indicador sonoro; (3) indicador visual; (4) caja de control; (5) caja de encendido/apagado.

Fuente: Elaboración propia.

5.1 Selección de microprocesador

El microprocesador se encarga de recibir los datos que le envía el módulo de procesamiento de imágenes tanto de la cámara estéreo como de la cámara simple. Si bien el procesamiento de imágenes se realiza en los módulos mencionados¹, 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 5.1.

Tab. 5.1 – 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 luz	1	3	I2C	Entrada
Control Motor a pasos	2	3	GPIO	Salida

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5.2 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.

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

Tab. 5.2 – 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 corriente² (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.

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.³

5.2 Selección de indicadores

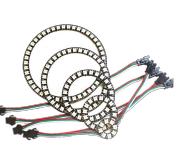
Los indicadores ya sean visuales o sonoros son parte fundamental de una máquina y se usan los dos tipos de indicadores para redundar el sistema de alertas de la CCT⁴. En el caso de la CCT el sistema debe indicar al operario diversos estados o funciones: al detectar una trucha, al contar una trucha, al encender y al apagar.

- 2. En uso típico.
- 3. Open source softwares and libraries.
- 4. Máquina Contadora y Clasificadora de Truchas.

5.2.1 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 5.3 se comparan tres dispositivos que cumplen con los requerimientos mínimos.

Tab. 5.3 – 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.

5.2.2 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 fun-

cionamiento de la máquina. En la Tabla 5.4 se compara características técnicas entre algunas bocinas candidatas para el sistema.

Tab. 5.4 – 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 (S/)	-	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.

5.3 Selección de interruptor de seguridad de apagado de emergencia

La implementación de un interruptor de seguridad es muy importante en el diseño de máquinas ya que es el mecanismo físico por el cual podemos parar la máquina quitando el suministro eléctrico a todos los componentes. En la Tabla 5.5 se compara características técnicas entre interruptor de seguridad candidatos para el sistema.

Tab. 5.5 – 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.

5.4 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 5.6 se compara características técnicas entre interruptores candidatos, primordialmente elegidos por su nivel de protección.

Tab. 5.6 – Tabla comparativa de interruptores de suministro de energía.

	Requisitos mínimos	S/C ⁵	56SW350
Figura	-		
Fabricante	-	HEIGHT	ROCKGRAND
Nivel de protección (IP)	IP67	IP67	IP67
Máximo voltaje admisible (V)	220	Hasta 415	Hasta 500
Tipo de fase soportada⁶	-	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 (\$/)	-	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.

5.5 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 5.2, 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. El control mostrado en la Figura 5.2 se realiza dentro del dispositivo a adquirir, por lo que solo se le envían señales eléctricas al dispositivo.

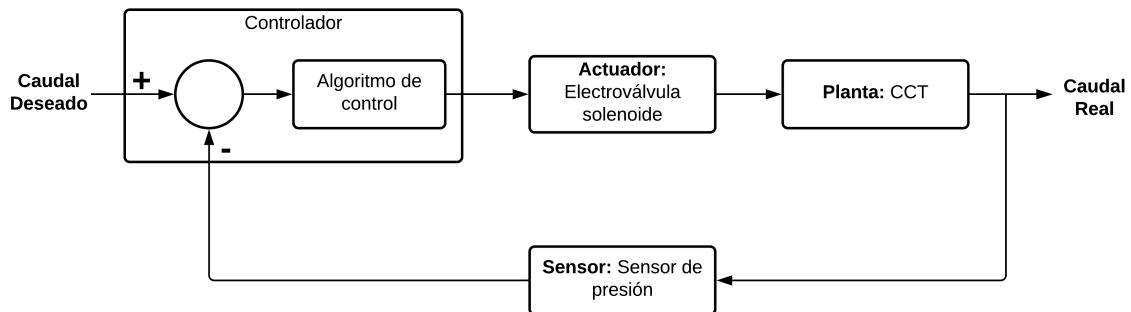


Fig. 5.2 – Diagrama de control del caudal de agua.

Fuente: Elaboración propia.

5.6 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. La iluminación es pre-establecida mediante software y según la potencia que se suministre varía la intensidad, mientras que para la frecuencia se usa la señal PWM. En la Figura 5.3 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.

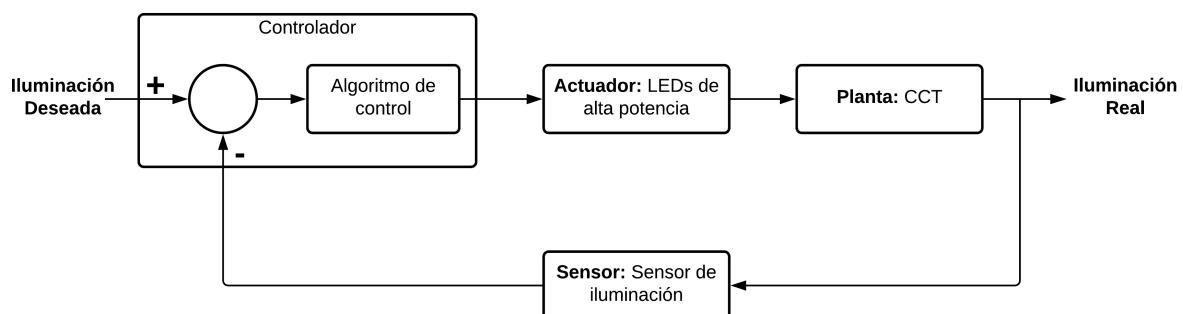


Fig. 5.3 – Diagrama de control de la iluminación en el subsistema de procesamiento de imágenes.

Fuente: Elaboración propia.

5.7 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 5.4 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.

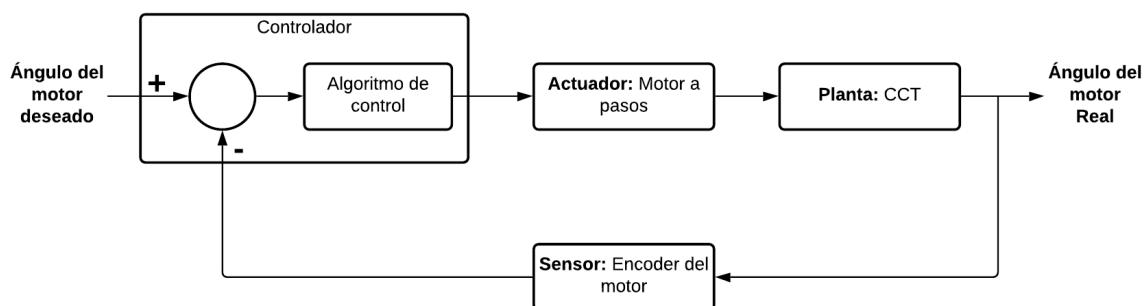


Fig. 5.4 – Diagrama de control de los motores a pasos.

Fuente: Elaboración propia.

5.8 Control de indicadores

En la Figura 5.5 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.

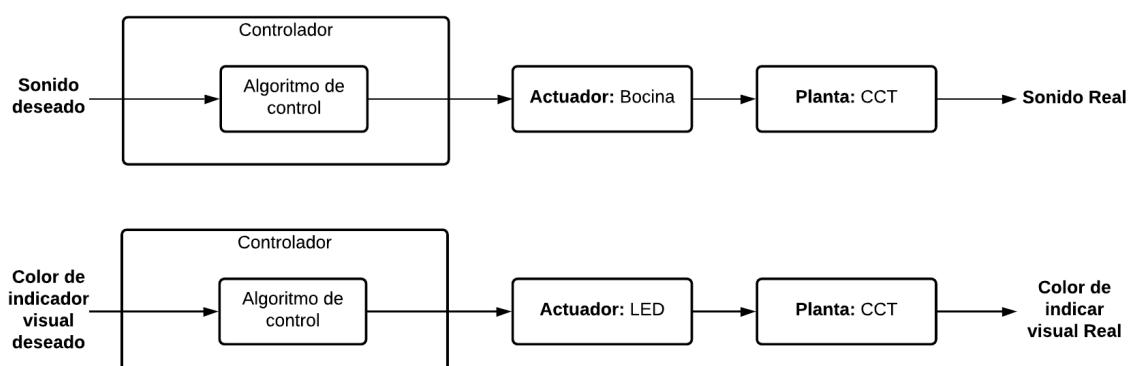


Fig. 5.5 – Diagrama de control de indicadores visuales y sonoros.

Fuente: Elaboración propia.

5.9 Control de clasificación y conteo

Como se muestra en la Figura 5.6 el control de la clasificación y conteo es de lazo cerrado.⁷

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.⁸

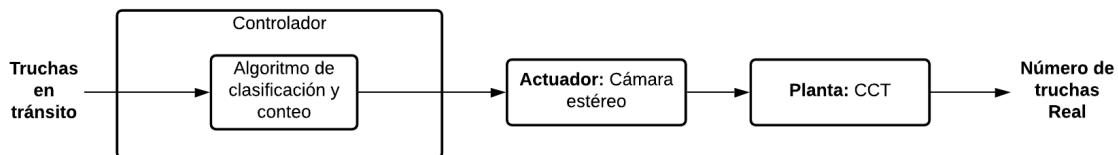


Fig. 5.6 – Diagrama de control de la clasificación y el conteo de truchas.

Fuente: Elaboración propia.

5.10 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).⁹ El prototipo propuesto mostrado en la Figura 5.7 puede ser probado de forma interactiva directamente haciendo clic en <https://bit.ly/3ko1nG0>.

-
7. El control puede mejorarse adicionando un sensor infrarrojo o empleando la cámara simple.
 8. 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.
 9. El diseño frontend escogido para el proyecto y su desarrollo simplificado, así como los requerimientos de diversos como los técnicos, usabilidad y de agradables al uso se encuentran referenciados en Joekman (2010), Prajyot Mainkar (2019), Churchill et al. (2016) y Neil (2012).



Fig. 5.7 – Aplicación móvil: todos los marcos

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 6

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.

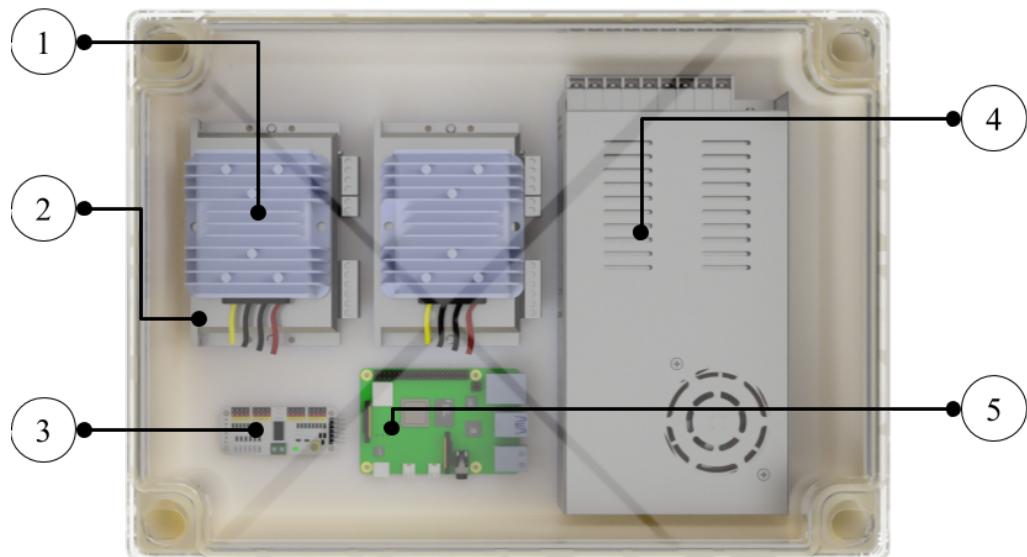


Fig. 6.1 – Subsistema de suministro de energía

Leyenda: (1) conversor de voltaje conmutado; (2) driver de servomotor; (3) generador PWM a partir de I2C; (4) Fuente switching 24V; (5) Raspberry Pi 4B.

Fuente: Elaboración propia.

6.1 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 6.1, 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. 6.1 – Tabla de consumo de energía del sistema por dispositivo.

	Modelo (Datasheet)	I max (mA)	V (V)	Pot. Unitaria (W)	Cant. (und.)	Pot. tot (W)
Motor a pasos 1 y 2	NEMA 34	2000	24	48	2	96
Driver de motor a pasos	DM860H	3.5	24	86.4	2	172.8
Bomba de agua 1	D03U-SHN-DK004X4	-	220	1000	1	1000
Bomba de agua 2	D03U-SHN-DK004X4	-	220	1000	1	1000
Sensor de presión	WNK80MA	20	12	0.24	4	0.96
Electroválvula 1	CTB100	-	24	100	1	100
Electroválvula 2,3 y 4		-	-	4	18	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	4.8/7/9	3	20.8
Indicador sonoro	SE-B40	-	12	35.9	2	80.00
Microprocesador	Raspberry Pi 4B	3	5	197.45	1	15.00
Sensor de luz	TSL2561	-	-	2	1	2
Sensor de presión	WNK80MA	-	-	1	4	4
Generador PWM de I2C	PCA9685	-	-	2	1	2
Conversores de voltajes	WMX	-	-	2	1	2
						Total 2602.46

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

6.2 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 6.2 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. 6.2 – 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.

6.3 Selección de convertidor de voltaje de conmutación

Los convertidor conmutados de voltaje de conmutación permiten aumentar o disminuir la tensión eléctrica de forma continua de manera más eficiente comparado a otros métodos sin sacrificar eficiencia. En la Tabla 6.3 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. 6.3 – 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 sobre-temperatura	-	No	Sí
Temperatura de operación (°C)	[-10; 40]	-	[-40; 80]
Nivel de protección (IP)	-	-	Hasta IP68
Eficiencia (%)	-	98	98
Precio (S/)	-	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.

6.4 Diagrama esquemático

El diagrama esquemático se presenta dependiendo de los componentes en las Figuras 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 y 6.8 correspondiente al sistema CCT. Este diagrama expone las conexiones de pines a seguir en la elaboración física de la máquina. En la Figura 6.2 se muestra las conexiones del microprocesador Raspberry Pi 4B a los actuadores y sensores. Añadir la necesidad de ondas PWM a partir de los pines digitales I2C debido al soporte que brindan.

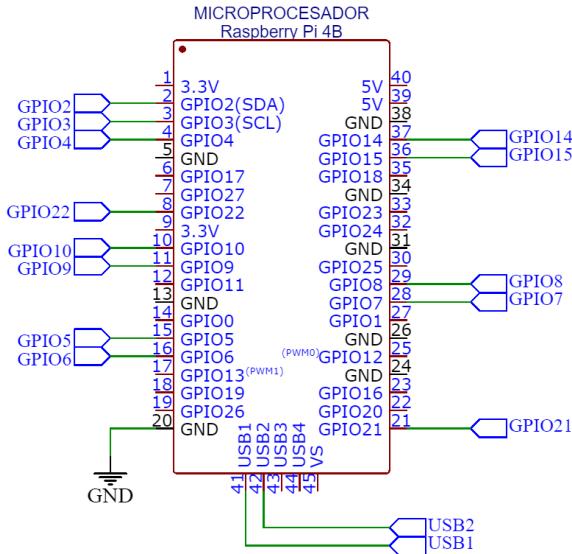


Fig. 6.2 – Diagrama esquemático del microprocesador.

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

En la Figura 6.3 se muestra las conexiones de los drivers DM860H a los motores a pasos basados en Nema 34, estos son alimentados con 24 V y posee dos secciones de conexiones: control y actuador. En la sección de control, se conectan DIR+ y PUL+ a pines digitales del microprocesador, mientras que DIR- y PUL- se conectan al voltaje de alimentación. Los motores de paso tienen 4 cables, diferenciados por colores que se conectan como se muestra en el diagrama.

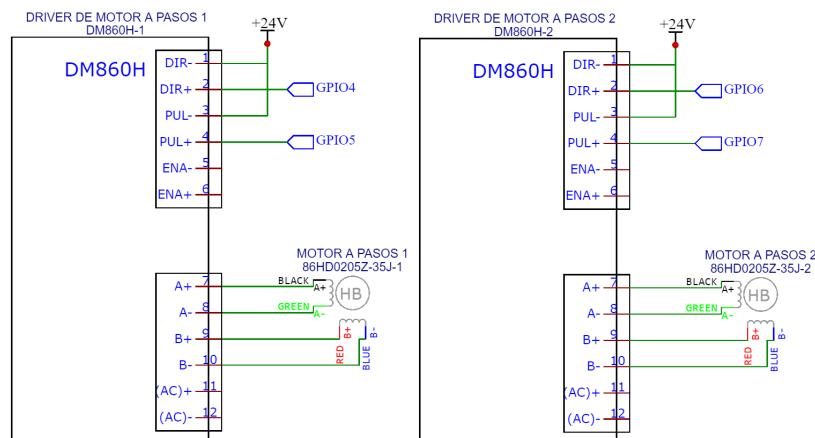


Fig. 6.3 – Diagrama esquemático de los drivers de los motores a pasos.

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

En la Figura 6.4 se muestra las conexiones de las cámaras al microprocesador. Dichas cámaras están diseñadas para transmitir las imágenes vía USB 3.0 y se alimentan por ese medio. El microprocesador soporta dos conexiones USB 3.0.

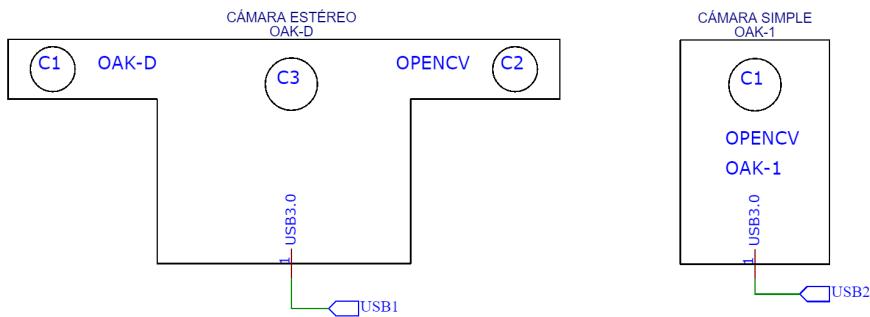


Fig. 6.4 – Diagrama esquemático de las cámaras.

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

En la Figura 6.5 se muestra las conexiones de los pines I2C del microprocesador al generador PWM. Dicha placa genera 6 ondas PWM y es posible de conectar en serie hasta 67 placas similares teniendo en cuenta la corriente necesaria.

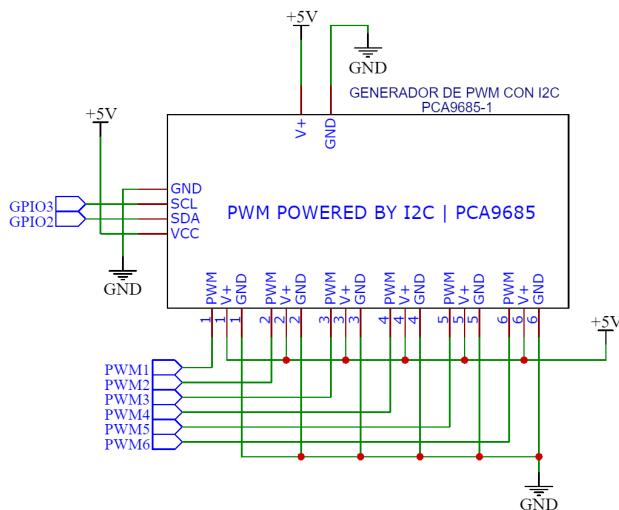


Fig. 6.5 – Diagrama esquemático del generador PWM a partir de I2C.

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

En la Figura 6.6 se muestra las conexiones del pin digital PWM del microprocesador hacia los indicadores visuales¹. Como se muestra en el diagrama, el cambio de colores e intensidad

1. El diagrama no representa medidas exactas.

cambia igualmente en los tres indicadores. Es posible modificar estas conexiones, agregando una tarjeta de control múltiple de PWM.

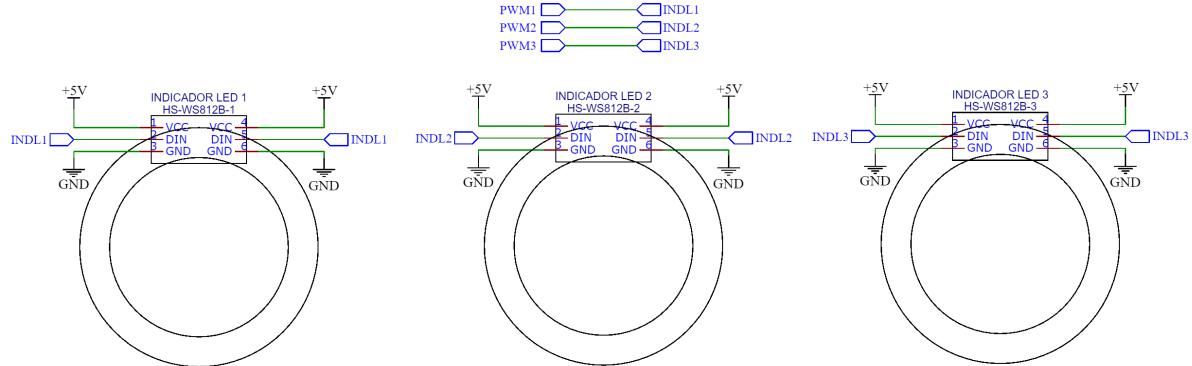


Fig. 6.6 – Diagrama esquemático de los indicadores visuales.

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

En la Figura 6.7 se muestra la conexión a los sensores de presión, al emisor y receptor infrarrojo. En el caso de los cuatro sensores de presión, se conectan a los pines digitales al pin I2C del microprocesador, debido al consumo de consumo de corriente, no es necesario agregar alimentadores de voltaje intermedios.

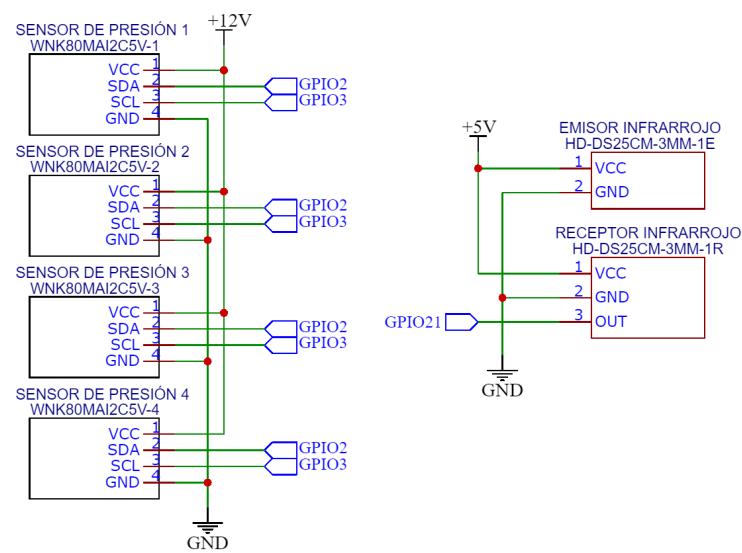


Fig. 6.7 – Diagrama esquemático de los sensores de presión e infrarrojo.

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

Por otro lado, para el sensor infrarrojo, la conexión al microprocesador corresponde al

receptor, existe una codificación y secuencia para recopilar la información.

En la Figura 6.8 se muestra la conexión a los leds de alta potencia que iluminan el subsistema de procesamiento de imágenes. El pin digital PWM activa el suministro a estos LEDs mediante el uso de transistores MOSFET que admiten un voltaje máximo de 40 V.

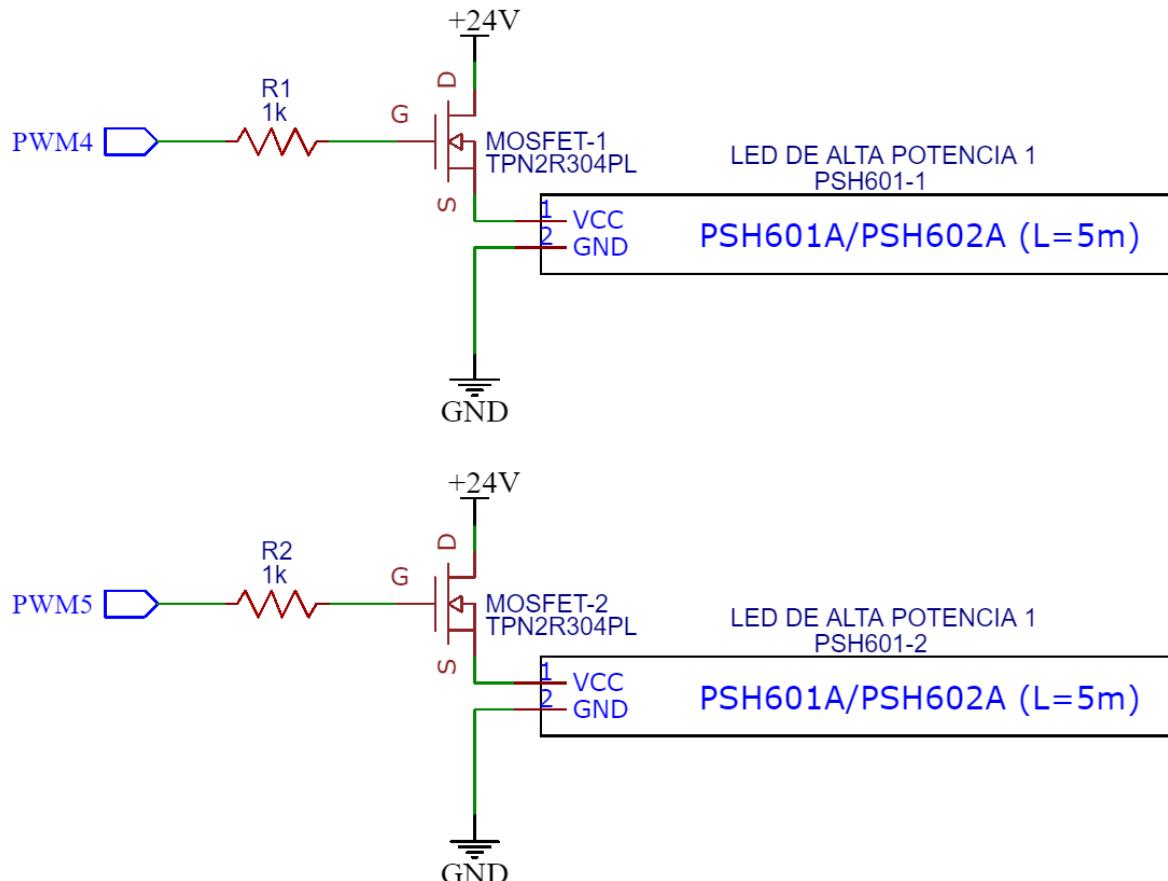


Fig. 6.8 – Diagrama esquemático de los led's de alta potencia.

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

En la Figura 6.9 se muestra la conexión PWM saliente de la placa de generación de ondas conectada al MOSFET de activación para emitir sonidos elaborados en la bocina. Al usar PWM se puede generar una alta gama de sonidos a diferentes frecuencias del espectro audible, para ser percibidos por el operario.

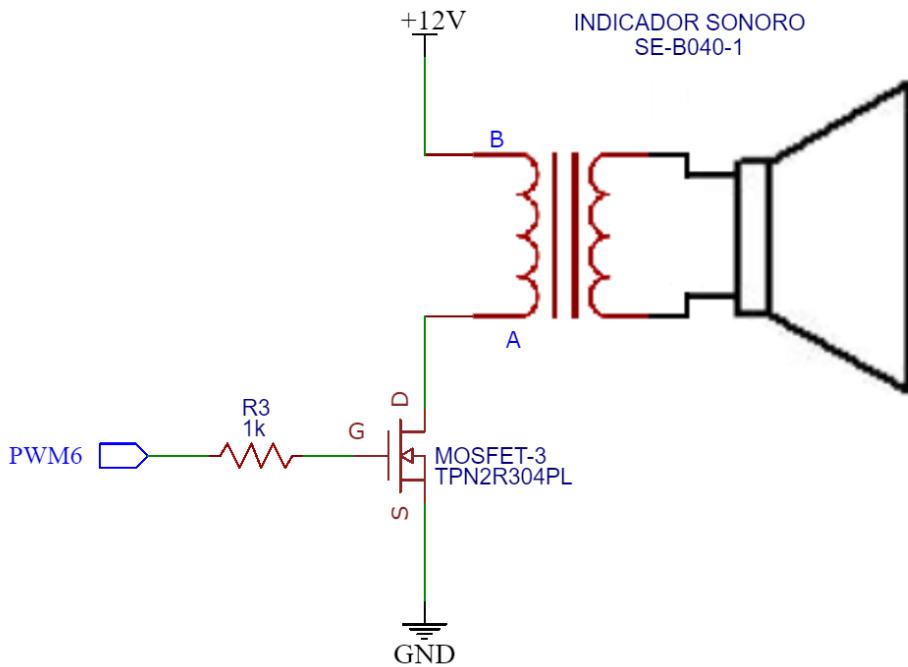


Fig. 6.9 – Diagrama esquemático del indicador sonoro.

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

6.5 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo principal, expuesto en la Figura 6.10 y 6.11 se describe las tareas y decisiones necesarias para completar el proceso de clasificación y conteo de trucha empleando la máquina propuesta en este trabajo. El funcionamiento, como se muestra en la Figura 6.10, se divide en etapas: primero, la verificación del sistema, si tuvo un uso previo, si es posible iniciar el proceso de encendido; segundo, se conecta mediante conexión servidor-cliente vía Wi-Fi al microprocesador, ingresa a la aplicación que detectará la conexión y le permitirá iniciar sesión, luego se puede iniciar el proceso en el aplicativo; tercero, mediante verificaciones en el aplicativo se indica los pasos a seguir y cuando se finaliza se presiona un botón en el aplicativo. El tercer proceso se repite para cada etapa de estado de la máquina, inclusive para realizar el proceso de apagado.

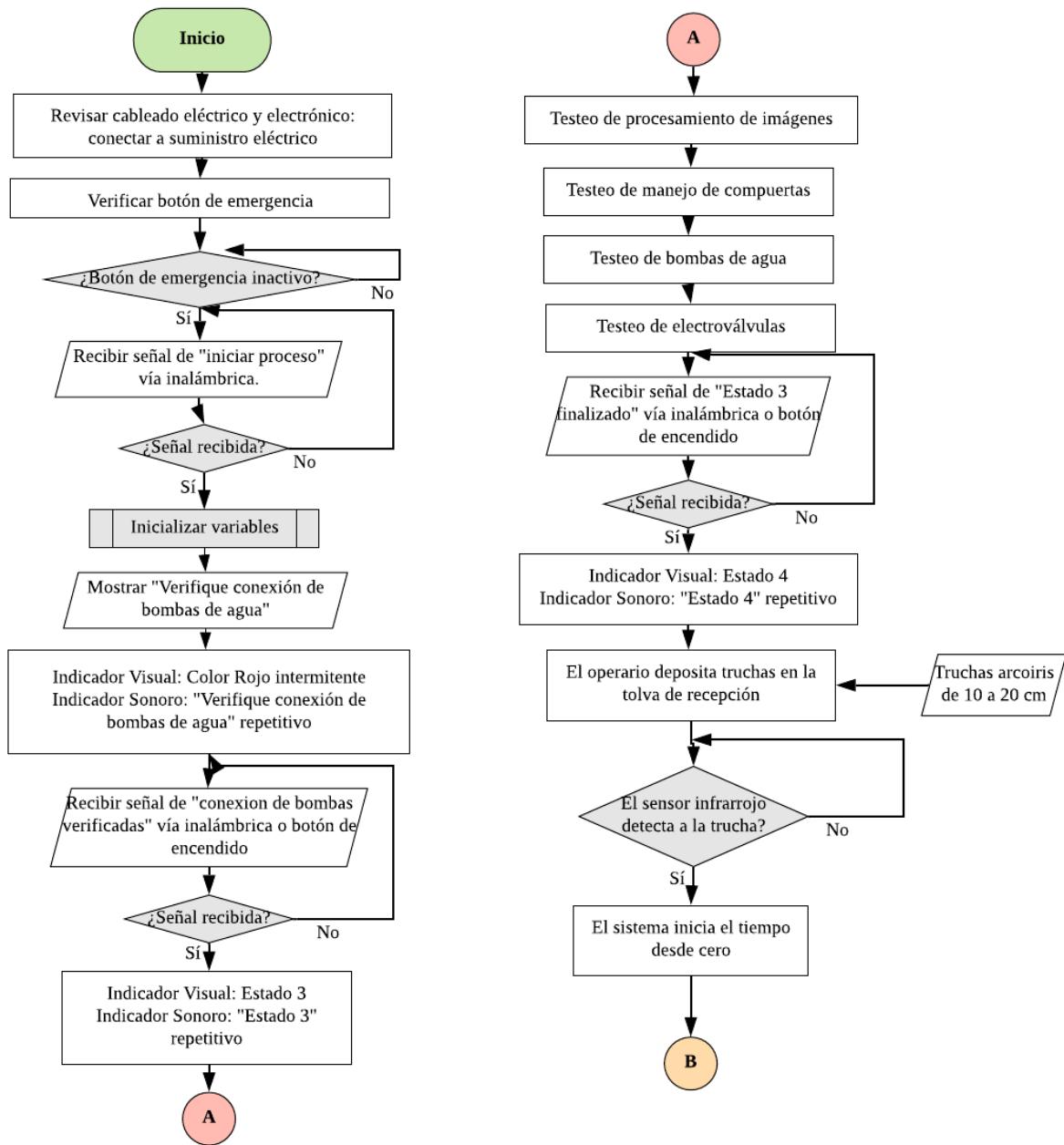


Fig. 6.10 – Diagrama de flujo principal

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que a medida que las etapas del proceso de clasificación y conteo se desarrollan, en la aplicación se muestra una pantalla distinta que debe muestra pasos a seguir que se muestran en la Figura 6.11 y que luego de cumplir con las tareas que se muestran se prosigue con la siguiente etapa. Finalmente en el aplicativo puede visualizar el reporte histórico de to-

dos los procesos de clasificación y conteo realizados. Antes empezar el proceso de apagado, el operario es informado sobre la desconexión respectiva ya que si bien la máquina opera en la plataforma flotante, esta va a ser guardada en un almacén cuando no esté en uso.

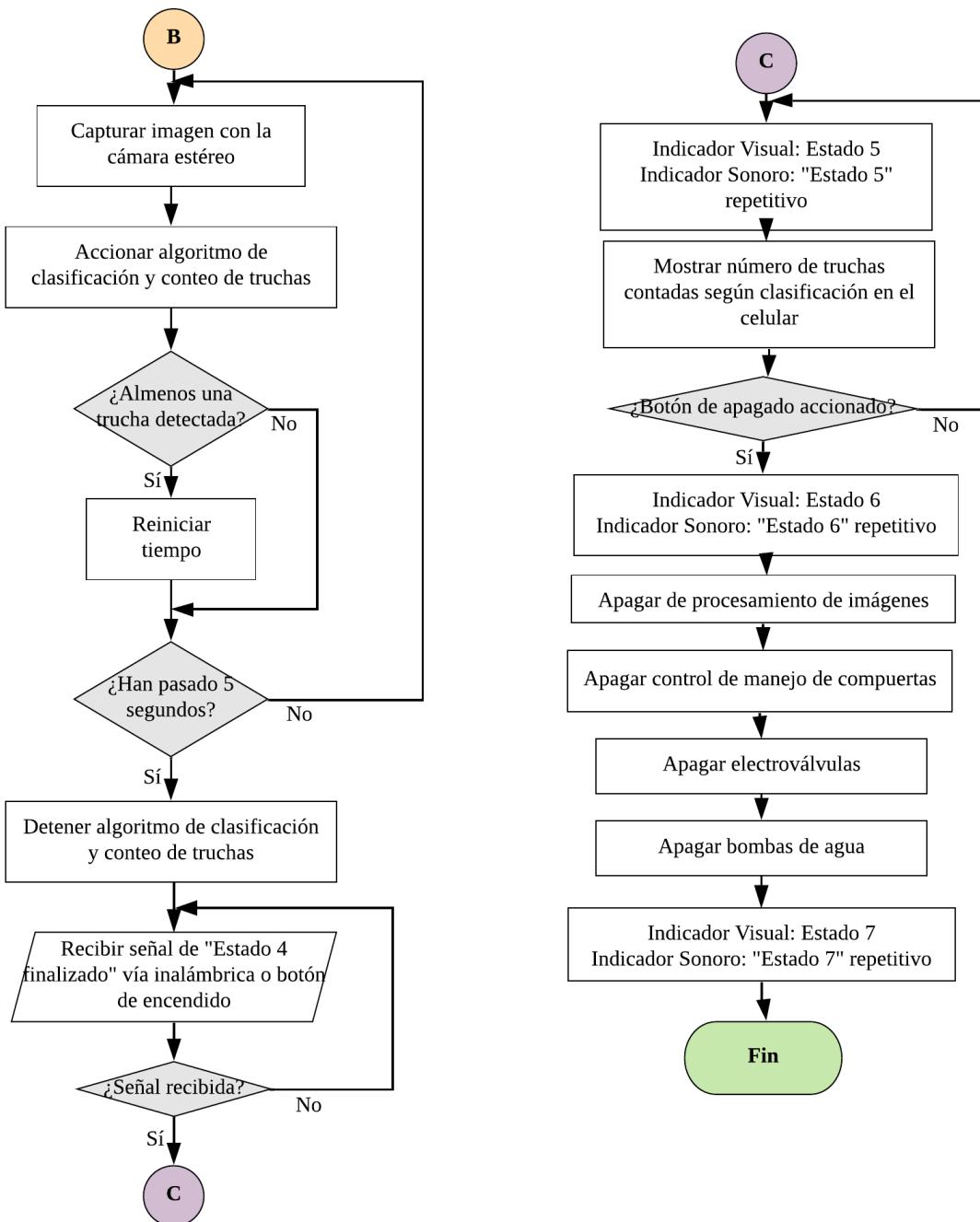


Fig. 6.11 – Diagrama de flujo principal

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 7

Pruebas y resultados

Este capítulo está enfocado en mostrar simulaciones, pruebas obtenidas de los algoritmos empleados en el sistema. Además desarrolla de manera técnica los resultados con la finalidad de ser comparables con resultados de otros autores de otras máquinas.

7.1 Algoritmos de clasificación y conteo de truchas

Con el fin de realizar la clasificación y conteo se plantea una solución de 4 etapas: detectar, contar, segmentar y medir. Para la primera y segunda etapa, los algoritmos seleccionados para realizar las pruebas son YOLOv3 y YOLOv4¹ mientras que el conteo se basa en el conteo de truchas detectadas que sobrepasen un umbral mínimo de fiabilidad de (30%). Para la tercera etapa, se aplica el algoritmo de segmentación llamado GrabCut² que permite quitar el fondo del objeto. Para la cuarta etapa, se usa un objeto referencial con medidas conocidas que permite la medición de la trucha en largo y ancho.

Las bases de datos empleadas en las pruebas para entrenar los algoritmos son la FISH9002 y FISH9003 de elaboración propia que contienen 723 y 2400 imágenes respectivamente. Sin embargo, se muestra únicamente resultados de la base de datos de imágenes FISH9003 ya que es esperable que brinde mejores resultados al brindar una mayor cantidad de imágenes.

-
1. Se puede probar las demos listadas en la sección 2.2.
 2. Algoritmo GrabCut: extracción interactiva de primer plano mediante cortes de gráficos iterados Rother et al. (2004).

7.1.1 Definición de criterios de clasificación

En la Tabla 7.1 se muestra la matriz de confusión sobre la cual se presentan diversas métricas evaluadas en el entrenamiento de los modelos. Los términos técnicos usados son citados de Everingham et al. (2010) y representan métricas para medir el rendimiento, confiabilidad y precisión de los modelos.

Tab. 7.1 – Matriz de confusión.

	Real Positivo	Real Positivo
Predecido Positivo	TP	FP
Predecido Negativo	FN	TN

Dónde: TP es *True Positive*; FP es *False Positive*; FN es *False Negative*; TN es *True Negative*. Fuente: Elaboración propia.

En base a la Tabla 7.1 se muestran las Ecuaciones 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5 que son comúnmente usadas para calcular métricas de los modelos. En la siguiente subsección se muestran resultados basados en estas métricas, aunque ninguna es excluyente de otra, aunque la F1 mostrada en la Ecuación 7.4 suele ser la principal variable a tomar en cuenta junto con el map.

$$Accuracy = \frac{True_{positive} + True_{negative}}{True_{positive} + True_{negative} + False_{positive} + False_{negative}} \quad (7.1)$$

$$Precision = \frac{True_{positive}}{True_{positive} + False_{positive}} \quad (7.2)$$

$$Recall = \frac{True_{positive}}{True_{positive} + False_{negative}} \quad (7.3)$$

$$F1 = \frac{2 * precision * recall}{precision + recall} \quad (7.4)$$

$$AveragePrecision = \int_0^1 p(r)dr \quad (7.5)$$

7.1.2 Resultados YOLOv3

En la Figura 7.1 se muestra los resultados de entrenamiento del modelo YOLOv3. Dónde: $GIoU$ es una métrica que nos permite segmentar mejor la imagen y que conviene se disminuya en el entrenamiento ya que el rectángulo de etiquetado se acerca más al real; *Objectness* es una métrica que nos indica si el modelo detecta correctamente intersecciones, por eso es bueno que disminuya; *Precision* es el ratio entre TP y la suma de TP con FP, que nos indica las veces que el modelo ha detectado bien la cantidad de truchas sobre una imagen; *Recall* es una métrica para medir la capacidad del modelo de detectar TP, mientras es mayor, mientras mejor; *val* se refiere a las métricas en etapa de validación; *mAP@0.5* es la precisión media con mínimo de confiabilidad de 0.5; *F1* es una métrica basada en el *Recall* y *Precision* que es usado comúnmente junto con la *Precision* para brindar un balance real de si el modelo funciona correctamente con una precisión adecuada. Como se muestra en la Figura 7.1 el modelo tiene una alta precisión pero un score F1 de alrededor de 0.4, esto quiere decir que el modelo logra reconocer truchas pero no de forma esperada.

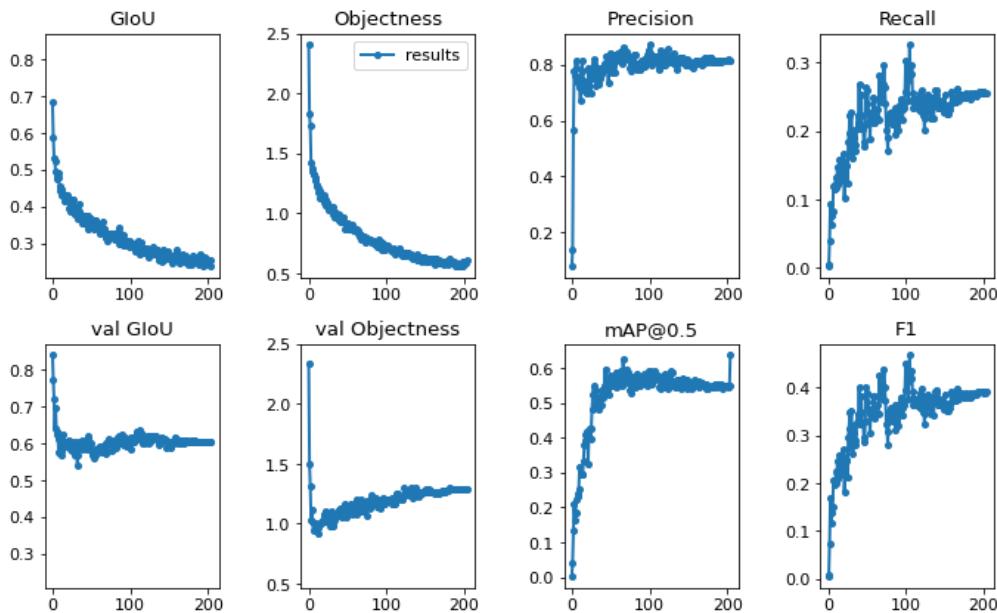


Fig. 7.1 – Resultados del entrenamiento de YOLOv3.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.3 Resultados YOLOv4

En la Figura 7.2 se muestra los resultados del entrenamiento del modelo YOLOv4-tiny. En el entrenamiento se registra el *loss* y el *mAP@0.5*³. El mAP máximo obtenido luego de 2000 iteraciones es de alrededor de 60% con un score F1 mejor que el obtenido por YOLOv3. Este algoritmo es superior tanto en tiempo de entrenamiento, como en robustez y en tamaño de los pesos de la red (alrededor de 25 MB⁴) por lo que se escoge para ser empleado en el sistema.

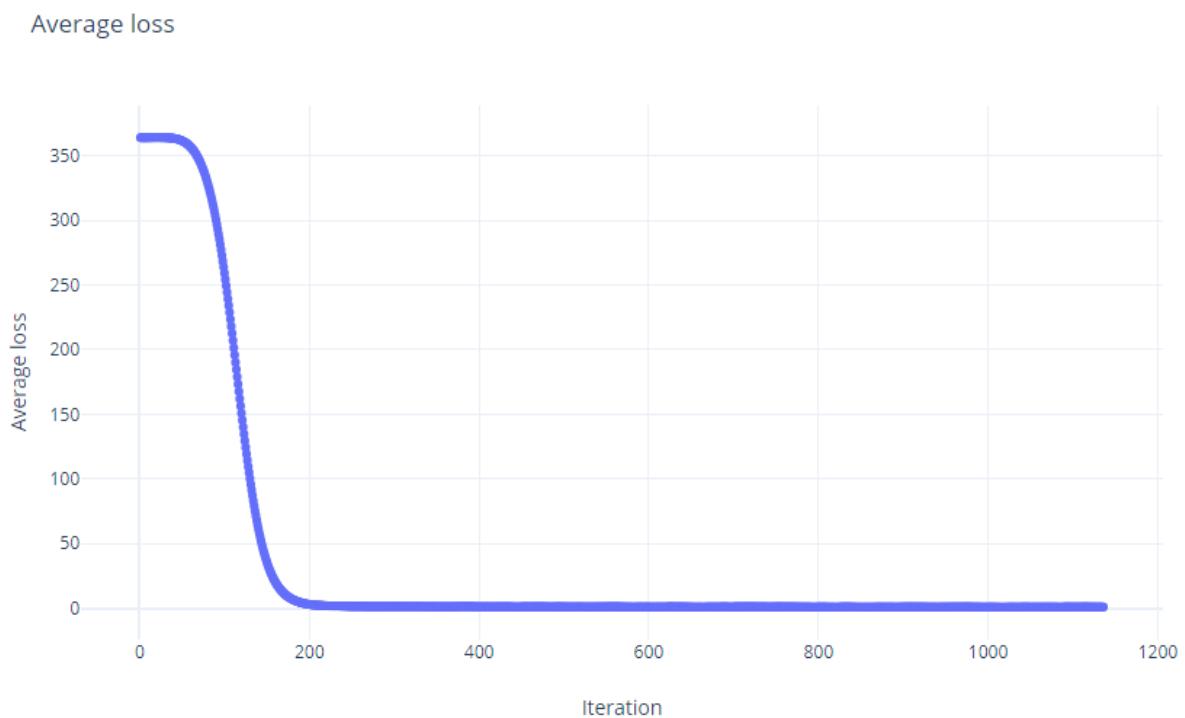


Fig. 7.2 – Resultados del entrenamiento de YOLOv4.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.4 Resultados del algoritmo de detección

Luego de detectado el objeto se procede a segmentarlo mediante técnicas de enmascarado de objetos. Finalmente cada objeto detectado en la imagen es contabilizado dentro del programa. En la Figura 7.3 se muestra en el lado izquierdo la imagen que se ingresa al algoritmo

-
3. map: mean average precision, en el caso map@0.5 significa precisión promedio con threshold 0.5.
 4. YOLOv3 alrededor de 250 MB.

y a la derecha el pez segmentado contabilizado.



Fig. 7.3 – Inferencia de detección y conteo de truchas.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la clasificación el sistema debe ser calibrado acorde al entorno, por lo que su etapa de desarrollo luego de la detección se da en la etapa de prototipado y producción. Sin embargo, el conteo es realizado sin ningún problema.

7.1.5 Tiempos de ejecución y detección

De los algoritmos propuestos, YOLOv3 se entrenó en Google Colab⁵ con una GPU Tesla T4 como se muestra en la Figura 7.4. En cuanto a la versión 3 del algoritmo, en el entrenamiento el algoritmo procesó alrededor de 12 horas los pesos de la red. Por el contrario,

5. Servicio gratuito de google para deep learning. Brinda GPUs de forma gratuita.

con la versión 4 del algoritmo con modificación de escalamiento llamado tiny, el proceso demoró alrededor de una hora brindando resultados excelentes que se muestran en la subsección anterior.⁶ El tiempo de inferencia es el tiempo que requiere procesar cada capa dentro de la arquitectura de red neuronal de cada algoritmo, mientras más capas posee la arquitectura, suele tomar mayor tiempo de inferencia. Sin embargo, hay mecanismos que permiten optimizar el tiempo de inferencia, estos mecanismos son aplicados en YOLOv3 y YOLOv4 respecto a YOLOv1 que hacen que el tiempo de inferencia para imágenes de 416x416 pixeles sea mucho menor. En el caso de YOLOv3 el $t_{inf} = 0.06s$, mientras que para YOLOv3 el $t_{inf} = 0.0083s$. Con el último modelo se puede conseguir hasta 120 fps de procesamiento en un video con 3 canales de color, si esto se reduce únicamente al canal B/N⁷ decrementa aún más.⁸.



```

1 | nvidia-smi
Tue Dec 22 21:38:44 2020
+-----+
| NVIDIA-SMI 460.27.04      Driver Version: 418.67      CUDA Version: 10.1      |
| Persistence-M| Bus-Id     Disp.A | Volatile Uncorr. ECC | | | | |
| Fan  Temp  Perf  Pwr:Usage/Cap| Memory-Usage | GPU-Util  Compute M. |
|          |          |          |          |          |          |          MIG M. |
+-----+
| 0  Tesla T4      Off  00000000:00:04.0 Off   0 |
| N/A  50C   P8    9W / 70W |    0MiB / 15079MiB |    0%      Default |
|          |          |          |          |          |          ERR! |
+-----+
Processes:
+-----+
| GPU  GI  CI      PID  Type  Process name          GPU Memory |
| ID   ID              ID           Usage          |
+-----+
| No running processes found
+-----+

```

Fig. 7.4 – Tarjeta gráfica (GPU) usada en el entrenamiento de YOLOv3 y YOLOv4.

Fuente: Elaboración propia.

-
- 6. Los códigos usados para entrenar los modelos se encuentran listados en la sección de 2.2.
 - 7. B/N: Blanco y negro.
 - 8. Investigaciones recientes no publicadas muestran resultados de hasta 320 fps.
-

7.2 Algoritmo de medición

El algoritmo de medición se calibra digitalmente mediante un objeto dentro de la imagen.⁹

En la Figura 7.5 se muestra la dimensión del sol peruano y la dimensión de la trucha en base a esa dimensión de la moneda. El algoritmo aplica filtros para diferenciar el fondo de los objetos, luego detecta el objeto más a la izquierda y le brinda las medidas que se brinda mediante línea de código¹⁰, luego encierra los objetos con las dimensiones calculadas en rectángulos. Finalmente, se muestran las dimensiones sobre la imagen como se muestra en la Figura 7.5.¹¹

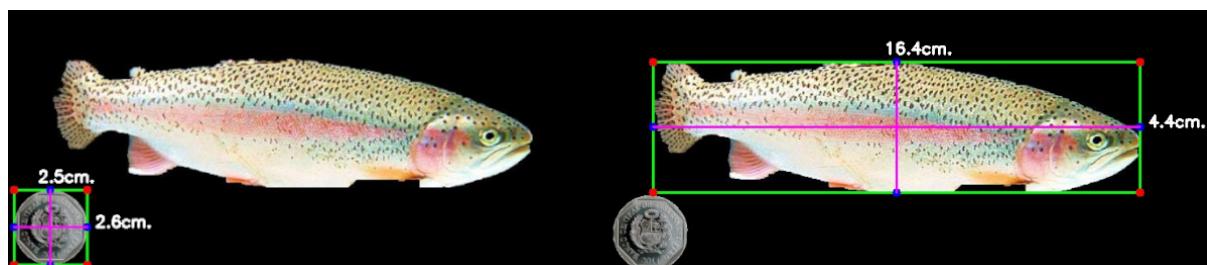


Fig. 7.5 – Medición digital de una trucha referenciada dimensionalmente con una moneda de 1 sol peruano.

Fuente: Elaboración propia.

7.3 Simulación estructural

Las simulaciones estructurales se realizan dentro de softwares que permiten simular fuerzas, momentos y esfuerzos a los que se estima estará sometido los componentes mecánicos del sistema.

7.3.1 Armadura

La armadura de soporte hecha de perfiles cuadrados de acero inoxidable con norma ISO 316 tiene un factor de seguridad (F.S.) de sometido a las fuerzas presentes del sistema. En La

9. Autor del algoritmo: PyImageSearch

10. Más información en el repositorio listado en la sección 2.2.

11. La tabla de clasificación de truchas en base a su tamaño se citan en Díaz Vergara (2020).

Figura 7.6 se muestra un mapa de calor que muestra el factor de seguridad según la zona de la armadura. Como se muestra en la Figura 7.6 el factor mínimo de seguridad es 15, por lo que se garantiza la integridad de la armadura sometida a las fuerzas y cargas esperadas.

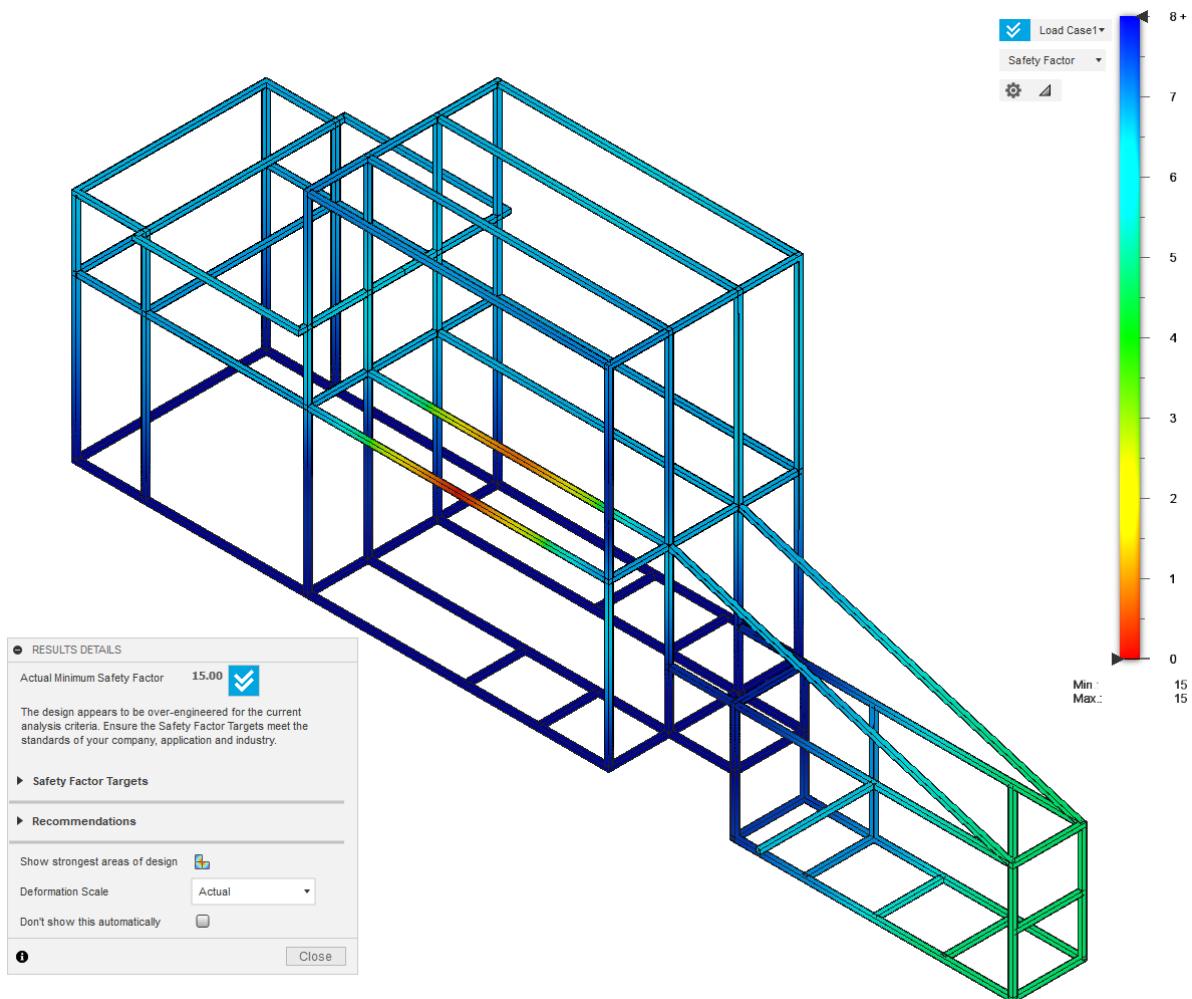


Fig. 7.6 – Cálculo de factor de seguridad de armadura en operación.

Fuente: Elaboración propia.

7.3.2 Plataforma flotante

Un componente clave a pesar de no estar dentro del diseño directo del sistema es la plataforma sobre la cual el sistema se apoya para ser estable en medio de un lago o laguna. La plataforma flotante fue diseñada y simulada bajo cargas de hasta 300 kilos repartidas en una

área que ocupa el sistema que se propone. En la Figura 7.7 se muestra que el factor de seguridad del sistema es de 15 lo cual nos indica que la plataforma soportará la carga sin problemas y no es riesgo para su flotabilidad.

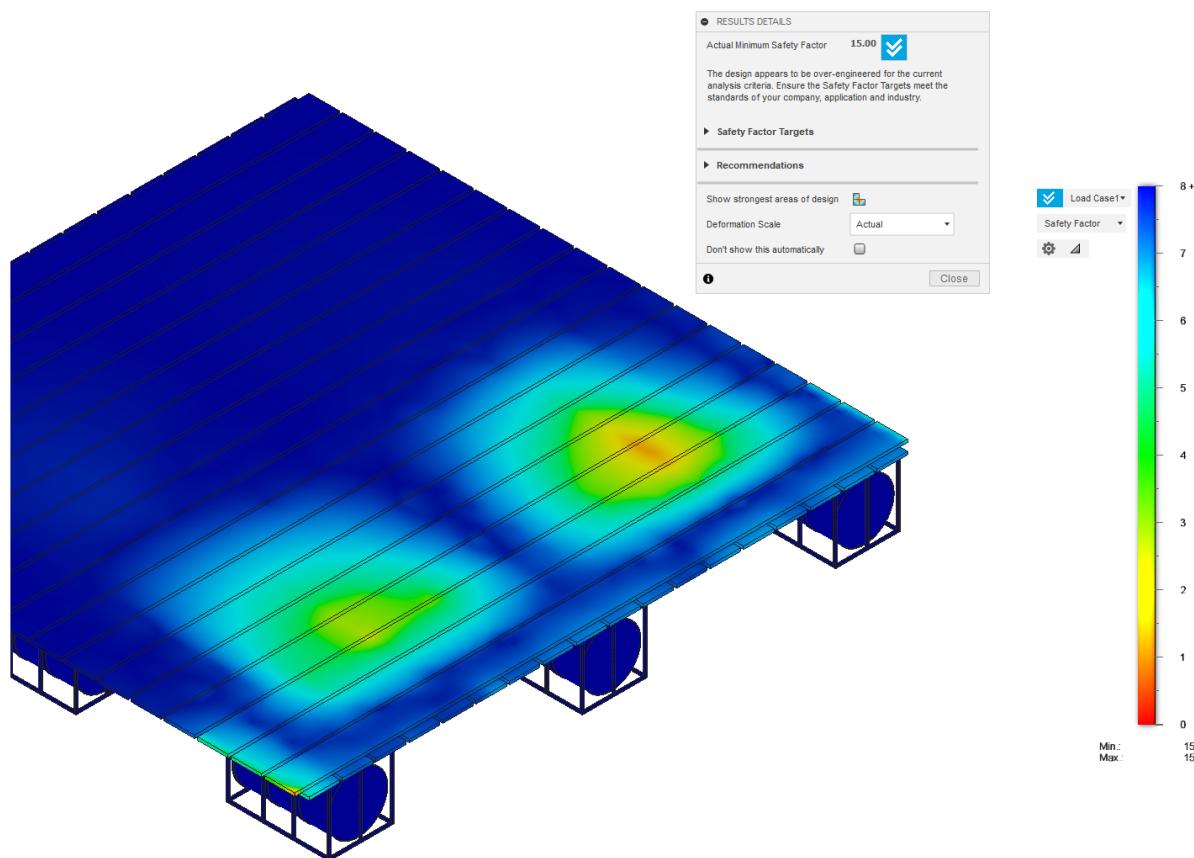


Fig. 7.7 – Cálculo de factor de seguridad en la plataforma flotante de 5x5 m.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 8

Estimación de costos

La estimación de costos del sistema en su conjunto se calcula mediante la separación por rubros específicos. Dichos rubros son relacionados al diseño, manufactura, materiales y dispositivos de uso eléctrico y electrónico.

8.1 Costos de diseño

Este costo está relacionado con la actividad de ingeniería de diseño, se calcula mediante la multiplicación de horas empleadas por el tesista en la redacción, diseño conceptual y diseño de ingeniería con el sueldo mínimo que suele recibir un practicante pre-profesional en el Perú. Las horas empleadas son calculadas por el tesista, el costo es teórico y pretende dar cifras acordes al mercado. En la Tabla 8.1 se detallan los costos asociados mencionados.

Tab. 8.1 – Costo de diseño de ingeniería.

Costo de diseño de ingeniería			
Concepto	Horas	Costo/hora (S/)	Subtotal (S/)
Diseño conceptual del sistema	350	9.30	3255.00
Diseño de ingeniería del sistema	350	9.30	3255.00
			Total (S/) 6510.00

Fuente: Elaboración propia.

8.2 Costos de componentes

Los componentes a considerar son los componentes eléctricos y electrónicos que se emplean para el funcionamiento correcto de la máquina. Los dispositivos son de importación por

lo que se aplica un impuesto por importación y gastos de envíos en 30%, con dicha cifra se calcula el costo total. En la Tabla 8.2 se exponen de forma detallada los costos unitarios de cada componentes y el total después de envíos e impuestos.

Tab. 8.2 – Costo de componentes eléctricos y electrónicos.

Costo de componentes eléctricos y electrónicos				
Componente	Modelo	Costo Unitario (S/)	Cantidad	Subtotal (S/)
Motor a pasos	NEMA 34	78.98	2	157.96
Driver de motor a pasos	DM860H	71.8	2	143.6
Bomba de agua	D03U-DK004X4	969.30	2	1938.6
Electroválvula 4”	CTB100	287.20	1	287.20
Sensor de presión	WNK80MA	43.08	4	172.32
Sensor infrarrojo	HD-DS25CM-3MM	7.00	1	7.00
Cámara estéreo	OAK-D	475.41	1	475.41
Cámara simple	OAK-1	355.41	1	355.41
LED's de iluminación	PSH601A	17.23	1	17.23
Microprocesador	Raspberry Pi 4B	197.45	1	197.45
Indicador visual	HS-WS812B-16L-b	12.57	3	37.71
Indicador sonoro	SE-B40	35.9	1	35.9
Interruptor de emergencia	LAY5-JBPN1P	21.54	1	21.54
Sensor de iluminación	-	21.36	1	21.36
Interruptor de suministro de energía	HEIGHT S/C	53.85	1	53.85
Fuente de alimentación	BNM-24V-500W	80.60	1	80.60
Convertidor de voltaje de conmutación	WMX-DSD24S1220 y WMX-DSD45S520	102.78	1	102.78
Placa I2C generador PWM	PCA9685	53.67	1	53.67
Cables	-	20	1	20
Activador tipo transistor	TPN2R304PL	0.36	4	1.44
				Subtotal (S/) 5281.03
				Impuestos (30%) 1584.31
				Total (S/) 6865.34

Fuente: Elaboración propia.
Tasa de cambio de USD a PEN: S/ 3.59.

Entonces, el costo de todos los componentes sin ensamblar es de S/ 6865.34 incluyendo gastos de envío y traslado de la cantidad especificada en la Tabla 8.2. Este total no debe ser comparado con máquinas comerciales debido a que es el costo de producir una sola máquina y no de producir en lotes, además de no haber pasado por la etapa de prototipado que suele disminuir el precio y perfeccionar el sistema disminuyendo el costo.

8.3 Costos de materiales

Los materiales abarcan las planchas de metal a doblar, las tuberías de plásticos, los perfiles de metal a soldar, los tornillos y refuerzos del sistema. Dichos materiales son listados con su precio comercial actual en los mercados nacionales en la Tabla 8.3.

Tab. 8.3 – Costo de materiales estructurales y tuberías

Material	Descripción	Costo		
		Costo Unitario (S/)	Cantidad	Subtotal
AISI 316	Tubo perfil cuadrado 20x20x5000 mm. (e=2 mm.)	A	A	A
AISI 316	Plancha 1x1220x2440 mm.	500	2	1000
AISI 316	Plancha 1.5x1220x2440 mm.	700	1	700
AISI 316	Plancha 2x1220x2440 mm.	850	1	850
Triplay	Plancha 1x1220x2440 mm.	50	2	100
PVC	Tubo 4"x1000 mm.	10	1	10
PVC	Tubo 3"x1000 mm.	10	1	10
PVC	Tubo Reductor 4-3"	5	2	10
PVC	Codo 145 °C 4"	3	2	6
PVC	Codo Tipo Y 4"	3	1	3
PVC	Codo 90 °C 4"	2	8	16
PVC	Codo 145 °C 3"	2.5	2	5
PVC	Codo Tipo Y 3"	2.2	1	2.2
PVC	Codo 90 °C 3"	1.8	4	7.2
AISI 316	Tornillos M4x20	0.15	18	2.70
AISI 316	Tornillos M6x60	0.20	12	2.40
AISI 316	Tornillos M6x18	0.20	36	7.20
AISI 316	Tornillos M8x20	0.50	16	5
AISI 316	Tornillos M14x30	0.75	16	12
AISI 316	Perno en U 3"	0.29	2	0.58
AISI 316	Sujetador sensor infrarrojo	3	2	6
Nylon	Cuerdas de sujeción	5	1	5
			Total	2760.28

Fuente: Elaboración propia.

El costo total por concepto de materiales se calcula en S/ 2760.28 y no se le agrega costo de envío ya que todos los materiales listados se pueden conseguir en el mercado nacional, entonces no es necesario ningún incremento en su costo total.

8.4 Costos de manufactura

Los costos de manufactura contemplados en esta sección abarcan únicamente los costos directos de mano de obra, los costos directos de los materiales fueron considerados en la anterior sección y los gastos generales de manufactura están considerados dentro del costo de mano de obra que se presenta en la Tabla debido a que se realiza los servicios por una empresa que brinda los servicios por separado.

Tab. 8.4 – Costo de manufactura.

Costo de mano obra	
Concepto	Subtotal (S/)
Servicio de soldadura	200.00
Servicio de corte láser	500.00
Servicio de plegado	200.00
Servicio de mecanizado	500.00
Total (S/)	1400.00

Fuente: Elaboración propia.

8.5 Costos total del sistema

La suma de costos del sistema con las características que se explican en cada sección se calcula alrededor de S/17600.00 ($\approx \$ 4900.00$) que incluye costos de diseño y ensamblaje, componentes eléctricos y electrónicos, materiales y manufactura de un sistema de clasificación y conteo de truchas.

Tab. 8.5 – Costo total del sistema.

Costo del sistema			
Concepto	Costo (S/)	Impuestos+Envío (S/)	Subtotal (S/)
Costo de diseño y ensamblaje	6510.00	–	6510.00
Costo de componentes	5281.03	1584.31	6865.34
Costo de materiales	2760.28	–	2760.28
Costo de manufactura	1400.00	–	1400.00
		Total (S/)	17535.62

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Se desarrolló el diseño de ingeniería del sistema que clasifica y cuenta truchas de 15 a 20 cm. basado en el diseño conceptual óptimo. Se estima que el sistema puede procesar sin problemas el proceso completo de clasificación de una jaula flotante de 5x5 m. en un día, a diferencia de los 7 días con mano de obra. Este diseño podría ser una alternativa real y permite el desarrollo de un prototipo que pueda resultar en un producto comercial.

Se han cumplido los requerimientos del sistema para que funcione sin problemas técnicos en las condiciones de la laguna de Paucarcocha, conceptos mecánicos, eléctricos y electrónicos han sido diseñados acorde al entorno. Principios de diseño centrado en el humano y no contaminación y durabilidad han sido considerados, los materiales como el acero inoxidable 316 del sistema no representan agentes contaminantes para el entorno de trabajo.

El precio de producción de una máquina es de S/ 17535.62 (\approx 4900), aunque este precio no es comparable con las máquinas comerciales, nos brinda una idea del costo de producción en lotes que abaratan los costos y podría ser accesible para empresas pequeñas y medianas en el Perú.

El sistema de procesamiento de imágenes para detección y conteo de truchas pueden detectar y registrar medidas del pez en tránsito que pasa frente a la cámara a una velocidad de 2 m/s. Acorde a la bibliografía y a los avances tecnológicos la mejora en este sistema era predecible, y aseguran un mayor rendimiento en las siguientes décadas.

Recomendaciones

En el presente trabajo, acorde a la complejidad, se plantea un desarrollo simple del diseño frontend de la aplicación móvil, enfocado en los pasos a seguir y las opciones mínimas que se requieren. Además, dicho diseño no fue probado en un grupo de personas a las que se orienta su uso. Lo óptimo es realizar iteraciones de diseño para obtener simplicidad junto con los principios de diseño intuitivo y amigable, es decir, centrado en el humano. Este punto es de proceso continuo por lo que puede tardar desde meses hasta años: razón suficiente para realizar una simplificación conceptual.

El análisis de algoritmo de procesamiento de imágenes que procesará el conteo y clasificación de truchas se guía sobre indicadores y experimentos realizados por diversos autores. Lo ideal es realizar el trabajo y probar las redes neuronales del estado del arte directamente al contexto, es decir, realizar pruebas en campo, con condiciones reales para elegir una red neuronal de manera óptima.

Con el objetivo de mejorar la segmentación de la trucha se debe experimentar en producción el uso de otros colores de iluminación para brindar un contraste con el pez, así como el posicionamiento de estas dentro de la sección en la que se realiza el procesamiento de imágenes.

Debe experimentarse sobre la iluminación adecuada acorde a la velocidad de fotogramas requerida, ya que a mayor velocidad de fotogramas se requiere mayor iluminación. Sin embargo, no se halló referencias bibliográficas sobre el impacto de la luz artificial en los órganos de la visión de las truchas.

Las tecnologías que se usan en los algoritmos presentes en este trabajo están enfocadas a la investigación y desarrollo, por lo que la aplicación de estas en producción debe ser rediseñada con el fin de optimizar el rendimiento y consumo de batería.

El diseño de ingeniería tanto en la etapa de investigación como en producción es iterativo continuo, es decir, siempre se puede obtener un producto con mayor acabado, mejor rendimiento y que cumpla con excelencia los requerimientos. Para llegar a un punto óptimo, en el que se tenga un producto comercial, debe realizarse iteraciones y observaciones de profesionales en la industria, así como pruebas con los potenciales clientes que usarán el sistema.

Los algoritmos de control empleados cumplen con la misión de ejercer un control simple. Sin embargo, diversos autores recomiendan que estos deben ser robustos al momento de evolucionar el diseño de desarrollo a producción, por lo que lo óptimo sería automatizar el proceso mediante algoritmos de última generación que garanticen seguridad y una respuesta de cambio suave que no pueda dañar los sistemas mecánicos administrados por el sistema.

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.s nauka.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{_}AUTOMÁTICA{_}PARA{_}MOSQUITEROS{_}CUADRADOS
- Everingham, M., Van Gool, L., Williams, C. K., Winn, J., & Zisserman, A. (2010). The pascal visual object classes (VOC) challenge. *International Journal of Computer Vision*. doi: 10.1007/s11263-009-0275-4
- 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
- Rezatofighi, H., Tsai, N., Gwak, J., Sadeghian, A., Reid, I., & Savarese, S. (2019). Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression. In *Proceedings of the ieee computer society conference on computer vision and pattern recognition*. doi: 10.1109/CVPR.2019.00075
- Rice, E. (2018). *Stepper motor torque basics.* Retrieved from <https://www.controleng.com/articles/stepper-motor-torque-basics/>
- Rother, C., Kolmogorov, V., & Blake, A. (2004). GrabCut - Interactive foreground extraction using iterated graph cuts. In *Acm siggraph 2004 papers, siggraph 2004*. doi: 10.1145/1186562.1015720
- 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-v5-917e9ce13208>

Zaarane, A., Slimani, I., Al Okaishi, W., Atouf, I., & Hamdoun, A. (2020). Distance measurement system for autonomous vehicles using stereo camera. *Array.* doi: 10.1016/j.array.2020.100016