

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA DE
TRUCHAS EN PISCIGRANJAS APLICANDO VISIÓN POR
COMPUTADORA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Luis Enrique Vega de la Cruz

ASESOR:

Luis Enrique García Zevallos

Lima, octubre, 2022

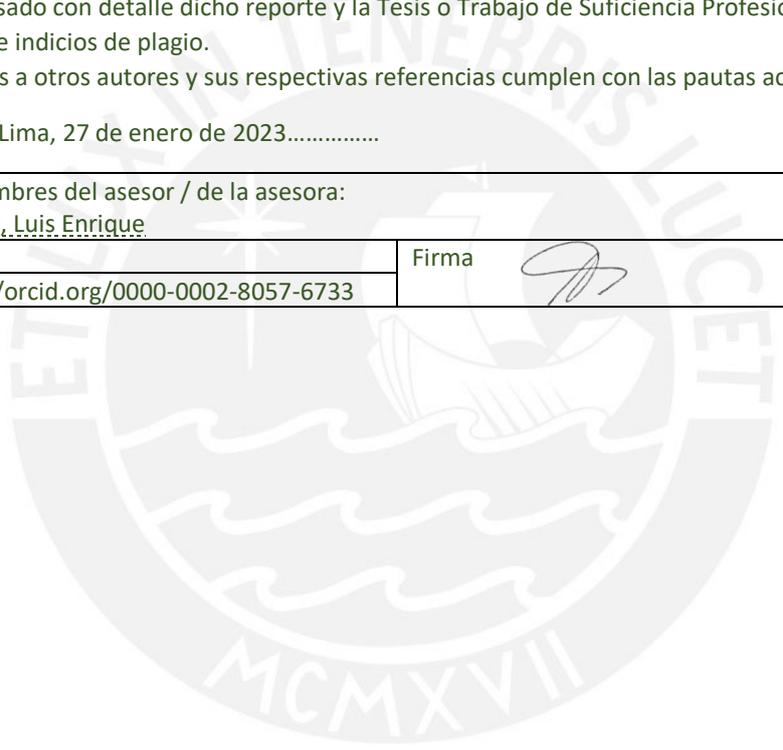
Informe de Similitud

Yo, ...LUIS ENRIQUE GARCÍA ZEVALLOS....., docente de la Facultad de ...CIENCIAS E INGENIERÍA..... de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado DISEÑO DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA DE TRUCHAS EN PISCIGRANJAS APLICANDO VISIÓN POR COMPUTADORA....., del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as) LUIS ENRIQUE VEGA DE LA CRUZ....., dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de ..10..%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 27/01/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: ...Lima, 27 de enero de 2023.....

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>García Zevallos, Luis Enrique</u>	
DNI: 09869730	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8057-6733	



RESUMEN

En los últimos años la producción de truchas en el Perú ha ido creciendo significativamente contribuyendo al sector exportación, al aumento del PBI y a una mayor empleabilidad en el sector rural. Esta actividad incluye procedimientos y técnicas para la crianza de las truchas durante todo su ciclo de vida, teniendo como una de las principales tareas la clasificación por tamaño, facilitando la supervivencia de las truchas más pequeñas. En el mercado internacional, existen máquinas automáticas de clasificación de peces por tamaño. Sin embargo, su alto costo obliga al productor peruano a mantener sus procedimientos de forma manual, lo que significa el empleo de recurso humano especializado. Por ello, se hace viable la propuesta de una máquina clasificadora de truchas por tamaño cuyo costo sea accesible al piscicultor local.

La presente investigación tiene como objetivo el diseño de una máquina clasificadora de truchas por tamaño aplicando visión por computadora. Para ello, se utiliza la metodología alemana VDI 2206, mediante la cual se realiza una investigación en el proceso de crianza de truchas y las tecnologías existentes actualmente en la clasificación por tamaño. Sobre la base de lo anterior, se define una lista de requerimientos que delimita el diseño y se dispone algunas posibles soluciones mediante un análisis de cada función realizada por la máquina. Luego, se realizan cálculos y diseños preliminares que sustenten la elección de la solución óptima de acuerdo a las exigencias mencionadas anteriormente. Posteriormente, se elabora el diseño óptimo que incluye simulaciones y pruebas de visión por computadora que valide el diseño propuesto. Finalmente, se logra diseñar una máquina que clasifica truchas por tamaño aplicando visión por computadora, la cual selecciona tres tipos de tamaño (juvenil, engorde y reproductor) y cuenta con una capacidad de selección de 1920 truchas / hora.

AGRADECIMIENTOS

Al Dios Altísimo, que por su soberana voluntad fueron creadas todas las cosas, a Él sea toda la adoración, gloria y la honra, porque gracias Él fui bendecido en todo conocimiento.

A mis padres, Marita de la Cruz y Angel Vega, por haberme dado una educación adecuada y su apoyo incondicional en mis estudios.

A mi abuelo Ricardo de la Cruz, que fue un ejemplo en mi vida de arduo trabajo y amor a la familia.

A mi hermano mayor Angel Vega, porque es un ejemplo en mi vida y por su apoyo en las dificultades académicas y laborales.

A mis hermanos menores Daniela Vega y Daniel Vega, que son mis compañeros de vida hasta ahora.

De manera muy especial a mi novia Cecilia del Pilar Rodríguez, por su comprensión, apoyo incondicional y estímulo a seguir adelante en mi vida profesional y académica.

A mi mentor Luis Ordaya, por su apoyo emocional y guiarme de manera íntegra en los caminos del **Señor** en toda la etapa universitaria.

A mi asesor Luis Garcia, por haberme aconsejado en todo tiempo en la elaboración de la tesis.

A la Pontificia Universidad Católica del Perú, por haberme formado profesionalmente.

INDICE DE CONTENIDO

1. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA	1
1.1 La trucha en el Perú	1
1.2 La industria de la trucha en el Perú	3
1.3 Clasificación de truchas por tamaño y buenas prácticas	5
1.3.1 Clasificación de alevines	5
1.3.2 Clasificación de truchas adultas.....	6
1.4 Trucha: Necesidad ante la oportunidad	7
1.5 Definición del problema técnico.....	8
2. ESTADO DEL ARTE.....	9
2.1 Equipos comerciales para la selección de peces.....	9
2.1.1 Tabla comparativa de tecnologías presentadas	12
2.2 Tecnologías asociadas a máquinas de selección de peces	13
2.3 Trabajos de investigación	15
3. ALCANCES, OBETIVOS Y REQUERIMIENTOS	18
3.1 Alcance	18
3.2 Objetivos.....	18
3.2.1 Objetivo general.....	18
3.2.2 Objetivos específicos	19
3.3 Lista de requerimientos	19

4.	DESARROLLO DEL CONCEPTO SOLUCIÓN	24
4.1	Estructura de funciones	24
4.1.1	Caja negra	24
4.1.2	Lista de funciones	25
4.2	Matriz morfológica	28
4.3	Concepto solución	28
4.3.1	Concepto solución 1.....	29
4.3.2	Concepto solución 2.....	31
4.3.3	Concepto solución 3.....	32
4.4	Evaluación técnica - económica	33
5.	ASPECTOS PRELIMINARES DE DISEÑO	37
5.1	Análisis de productividad	37
5.1.1	Mecanismo de singularización.....	37
5.1.2	Canal en forma de V	38
5.1.3	Tolva de recepción de truchas	39
5.2	Compuertas de seguridad.....	40
5.3	Dimensionamiento de la rampa de captura de imagen	41
5.3.1	Análisis cinético.....	41
6.	DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO.....	45
6.1	Descripción del diseño mecatrónico.....	45

6.2	Selección del material.....	48
6.3	Diseño de estructuras.....	49
6.3.1	Selección de perfiles	49
6.3.2	Análisis de deformaciones	50
6.3.3	Selección de garruchas.....	51
6.4	Subsistema de recepción y singularización	52
6.4.1	Análisis de soldadura y deformaciones	54
6.4.2	Diámetro del eje de transmisión	57
6.4.3	Selección del motor de eje	60
6.4.4	Selección del motor de compuertas	62
6.5	Subsistema de aspersión	65
6.5.1	Selección de sensores de presencia.....	66
6.5.2	Selección de la bomba de agua	67
6.5.3	Selección de adaptadores y mangueras.....	67
6.6	Subsistema de captura de imagen.....	68
6.6.1	Rampa inclinada y rodillos	68
6.6.2	Selección de cámara.....	70
6.6.3	Cubierta de captura de imagen.....	71
6.6.4	Selección de sensores fotoeléctricos.....	72
6.7	Subsistema de clasificación.....	74

6.7.1	Diseño de rodillos	74
6.7.2	Selección de motorreductor	77
6.7.3	Selección de banda.....	81
6.7.4	Soporte de faja y dispositivo de tensión	82
6.7.5	Diseño de brazos para la clasificación	83
6.7.6	Selección del motor de brazo para clasificación.....	85
6.8	Diseño electrónico y selección de componentes	86
6.8.1	Arquitectura del hardware electrónico del sistema.....	87
6.8.2	Circuitos de aislamiento.....	89
6.8.3	Selección de componentes eléctricos y electrónicos	90
6.8.4	Fuente de alimentación	91
6.9	Subsistema de interfaz con el usuario.....	92
6.10	Diagrama de operaciones del sistema.....	93
6.11	Diagrama de flujo del sistema	93
6.11.1	Subprograma de “Capturar y procesamiento de la información”	96
6.11.2	Subprograma de “Clasificar por tamaño”	96
6.12	Lista de planos	97
7.	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y ANÁLISIS DE DATOS	98
7.1	Implementación del programa de prueba	98
7.1.1	Imagen original	99

7.1.2 Plano HSV y cálculo de parámetros	100
7.1.3 Filtros y operaciones morfológicas.....	101
7.1.4 Cálculo de área.....	102
7.2 Análisis de datos.....	103
7.2.1 Área vs longitud.....	104
7.2.2 Rango de valores para la toma de decisiones	104
7.3 Tiempo de ejecución del algoritmo	105
8. ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	107
CONCLUSIONES.....	108
RECOMENDACIONES.....	110
BIBLIOGRAFÍA.....	111

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Exportación de truchas en millones de dólares por año	2
Figura 1.2 Piscigranjas.....	3
Figura 1.3 Proceso de selección de truchas ³	4
Figura 1.4 Selección de alevines por tamaño	5
Figura 1.5 Clasificación de truchas adultas ³	6
Figura 1.6 Proceso de clasificación de truchas por cajas clasificadoras ³	7
Figura 2.1 Caja clasificadora	9
Figura 2.2 Clasificadora de peces vivos ACUINUGA	10
Figura 2.3 Clasificadora de peces VAKI.....	11
Figura 2.4 Clasificador de pescado HELIOVISION 50	11
Figura 2.5 Clasificadora de peces planos QGRADER	12
Figura 2.6 Bomba para peces.....	14
Figura 2.7 Contador de peces	14
Figura 2.8 Máquina clasificadora automática.....	15
Figura 2.9 Máquina clasificadora de truchas vivas.....	16
Figura 2.10 Diseño de un algoritmo para la estimación de tamaño de peces por visión.....	17
Figura 5.1 Brazo giratorio de singularización	37
Figura 5.2 Canal V (a), Canal V con rodillos (b)	39
Figura 5.3 Compuertas de seguridad	41
Figura 5.4 Materiales de ensayo	42
Figura 5.5 Modelo cinemático	42
Figura 5.6 Modelo dinámico.....	43
Figura 6.1 Vista isométrica del clasificador de truchas (a). Dimensiones generales (b).	46

Figura 6.2 Componentes principales del sistema.....	48
Figura 6.3 Estructuras.....	49
Figura 6.4 Cartelas.....	50
Figura 6.5 Vistas de la tolva de recepción.....	53
Figura 6.6 Brazo de giro y mecanismo de abre y cierre de compuertas.....	54
Figura 6.7 Perfil cuadrado.....	54
Figura 6.8 Diagrama de cuerpo libre.....	55
Figura 6.9 Desplazamiento de perfil cuadrado.....	56
Figura 6.10 Diagramas del eje.....	57
Figura 6.11 Modelo CAD de estructura y acople de servomotor.....	62
Figura 6.12 Diagrama de cuerpo libre de la trucha.....	62
Figura 6.13 Diagramas de cuerpo libre de mecanismo.....	63
Figura 6.14 Subsistema de aspersión.....	65
Figura 6.15 Adaptadores de manguera.....	68
Figura 6.16 Rampa de captura de imagen.....	69
Figura 6.17 Modelo CAD del rodillo.....	69
Figura 6.18 Esquema de la rampa y cámara.....	71
Figura 6.19 Cubierta de captura de imagen.....	72
Figura 6.20 Modelo CAD de los sensores fotoeléctricos seleccionados.....	73
Figura 6.21 Modelo CAD del rodillo de reenvío.....	74
Figura 6.22 Dimensiones principales del eje de reenvío.....	75
Figura 6.23 Rodillo motriz.....	75
Figura 6.24 Discos de sujeción.....	76
Figura 6.25 Dimensiones generales del eje motriz.....	76

Figura 6.26 Factor de ancho de banda.	78
Figura 6.27 Factor de longitud.....	79
Figura 6.28 Factor de servicio	79
Figura 6.29 Potencias adicionales.....	80
Figura 6.30 Soporte de faja y dispositivo de tensión.	83
Figura 6.31 Modelo CAD del brazo de selección.....	83
Figura 6.32 Forma de selección del pez.	84
Figura 6.33 Unión entre eje y soporte.....	84
Figura 6.34 Dimensiones generales del eje.	85
Figura 6.35 Análisis estático de brazo de selección	85
Figura 6.36 Arquitectura del hardware electrónico del sistema.	88
Figura 6.37 Filtro de pulsadores y sensores.....	89
Figura 6.38 Filtro de pilotos luminosos y bomba de agua.	90
Figura 6.39 Modelo CAD del tablero de control	93
Figura 6.40 Diagrama de flujo del sistema	95
Figura 6.41 Subprograma de “Capturar y procesamiento de imagen”.	96
Figura 6.42 Diagrama de flujo de “Clasificar por tamaño”.	97
Figura 7.1 Diagrama de flujo del algoritmo.....	98
Figura 7.2 Distribución de las luces led en la cubierta.	99
Figura 7.3 Imagen original.....	100
Figura 7.4 Valores del parámetro V máximo.	101
Figura 7.5 Operaciones morfológicas.....	102
Figura 7.6 Contornos cerrados.....	103
Figura 7.7 Área de la trucha.....	103

Figura 7.8 Área vs longitud104



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ciclo de vida de la trucha arco iris	4
Tabla 2.1 Tabla comparativa de máquinas existentes.....	13
Tabla 4.1 Leyenda de indicadores en la matriz morfológica.....	28
Tabla 4.2 Evaluación técnica de la solución 1	34
Tabla 4.3 Evaluación económica de la solución 1	34
Tabla 4.4 Evaluación económica de la solución 2.....	35
Tabla 4.5 Evaluación económica de la solución 2.....	35
Tabla 4.6 Evaluación económica de la solución 3	36
Tabla 4.7 Evaluación económica de la solución 3.....	36
Tabla 5.1 Características de la bomba de peces.....	38
Tabla 5.2 Resultado de ensayos.....	44
Tabla 5.3 Resultado teórico	44
Tabla 6.1 Tabla comparativa de aceros inoxidables	48
Tabla 6.2 Pesos asociados sobre la estructura de la sección 1.....	50
Tabla 6.3 Pesos asociados sobre la estructura de la sección 2.....	51
Tabla 6.4 Peso de la estructura de la sección 1 y 2.....	51
Tabla 6.5 Comparación de garruchas	52
Tabla 6.6 Característica de garrucha.....	52
Tabla 6.7 Parámetros para verificar la soldadura	56
Tabla 6.8 Cálculo del diámetro de eje	59
Tabla 6.9 Cálculo de la nueva velocidad de giro del motor	60
Tabla 6.10 Cálculo de torque requerido.....	61
Tabla 6.11 Especificaciones técnicas del motor Stepper	61

Tabla 6.12 Cálculo del momento requerido.....	64
Tabla 6.13 Tabla comparativa de sensores capacitivos	66
Tabla 6.14 Características de la bomba de agua	67
Tabla 6.15 Características de la cámara seleccionada	70
Tabla 6.16 Características del lente seleccionado	71
Tabla 6.17 Características del sensor seleccionado	73
Tabla 6.18 Diámetros de barras seleccionadas	77
Tabla 6.19 Potencia requerida calculado	80
Tabla 6.20 Características del motorreductor seleccionado	81
Tabla 6.21 Características de banda seleccionada	82
Tabla 6.22 Cálculo de momento requerido.....	86
Tabla 6.23 Tabla comparativa de motores a paso.....	86
Tabla 6.24 Componentes eléctricos seleccionados.....	90
Tabla 6.25 Componentes electrónicos seleccionados.....	91
Tabla 6.26 Corriente de cada componente seleccionado.....	91
Tabla 6.27 Fuentes seleccionadas	92
Tabla 7.1 Secuencia de operaciones morfológicas	101
Tabla 7.2 Rango de píxeles.....	105
Tabla 7.3 Promedio de tiempo para la captura de imagen.....	105
Tabla 7.4 Promedio de tiempo de cálculo del área	105
Tabla 7.5 Promedio de áreas.....	106
Tabla 7.6 Tiempo de toma de decisiones.....	106
Tabla 7.7 Tiempo total del algoritmo	106
Tabla 8.1 Costos generales	107

1. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 La trucha en el Perú

En los últimos años, la acuicultura en el Perú se ha ido diversificando no solo en especies, sino también dentro de las actividades económicas del país, convirtiéndose en una importante fuente de ingresos económicos (Ministerio de la Producción, 2018). Entre los principales recursos hidrobiológicos destacan el langostino, la tilapia y la trucha, en donde este último tiene un crecimiento en cosechas de 10.1% anual. Esto se debe a que cada año el Perú tiene una mayor demanda de exportación hacia el mercado internacional principalmente a Estados Unidos y Rusia. Estas exportaciones mantienen una tendencia ascendente, pasando de US\$ 9 millones (2013) a US\$ 26 millones (2017), con una tasa de crecimiento promedio anual de 30.9%. Asimismo, se producen en diferentes presentaciones como filetes congelados, filetes frescos, HG congelado (sin cabeza y sin vísceras) siendo los principales destinos Rusia, Canadá y Japón. El porcentaje restante es enviado a los Estados Unidos (Prom-Perú, 2018).

En el año 2018 la exportación de trucha sumó 32 038 000 millones USD registrando un crecimiento de 41% en relación al año 2017 ocupando este el séptimo lugar a nivel mundial en exportación (Gestion, 2019). Además, se proyecta que para el año 2020 la exportación de trucha aumente en 7% con respecto al año anterior (economista America, 2020). En la figura 1.1 se elabora un gráfico que detalla el crecimiento por año (2013 - 2020) de las exportaciones en millones de dólares de la trucha, sobre la base de la información anteriormente brindada.



Figura 1.1 Exportación de truchas en millones de dólares por año¹

Por otro lado, la producción de truchas en el Perú genera un buen impacto económico, de acuerdo con la Red Nacional de Información Acuícola (RNI) los departamentos que más han producido en los últimos 5 años fueron Ayacucho, Junín, Cusco, Huancavelica y Puno (PRODUCE, 2016). Además, PRODUCE mencionó que el valor agregado Bruto (VBA) de la actividad acuícola en Puno se incrementó en un 150% entre los años 2007 y 2019 alcanzando una cifra de 42.3 millones de soles siendo esa región líder en producción de truchas a nivel nacional.

Por otro lado, se realizó una investigación en la Universidad Nacional del Altiplano donde se hizo un estudio sobre la rentabilidad de las empresas que producen truchas arcoíris en Puno. Se concluyó un margen mínimo de rentabilidad en 40% y como máximo 86% (Roque, 2015).

¹ “Informe Especializado Oportunidades para la trucha en el mundo”, por Prom-Peru, 2018. “Exportaciones pesqueras tuvieron desempeño positivo el 2020” por elEconomista América 2021

1.2 La industria de la trucha en el Perú

El Perú la principal variedad de trucha criada es la “arco iris” (*Oncorhynchus mykiss*) la cual fu introducida hace más de 75 años proveniente de los Estados Unidos (Huamaní Aguilar & Mantilla Bueno, 2017). La denominación de “Trucha arco iris” se debe a la presencia de una franja de colores de diferentes tonalidades en ambos lados de su cuerpo. El cultivo de esta variedad de trucha tiene ciertas ventajas, tales como que es adaptable a los ambientes confinados, soportando altas densidades y cuenta con tecnología y cuenta con tecnologías definidas para su proceso productivo. Además, posee un alto valor proteico para una buena dieta en el ser humano, siendo además de gran aceptación en el mercado internacional (Orna Rivas, 2010). Existe una preferencia mundial por la trucha arco iris hembras (female), ya que ellas proveen semillas durante todo el año, se adaptan a condiciones ambientales diferentes y su velocidad de crecimiento es alta (FONDEPES, 2004).

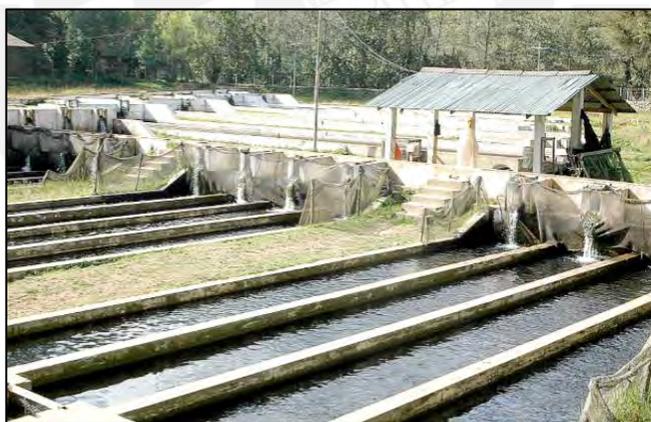


Figura 1.2 Piscigranjas²

El cuidado de las truchas requiere además protección sanitaria, satisfacer las exigencias biológicas a lo largo de su ciclo de desarrollo, el cual consta de varias etapas las cuales se describen brevemente en la Tabla 1.1.

² “Manual de Crianza de Truchas en Ambientes Convencionales”, por FONDEPES, 2014

Tabla 1.1*Ciclo de vida de la trucha arco iris*

Etapa biológica de la trucha	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)
Alevines iniciales	2.5-7.5	0.4-0.5	0.19-5.2
Alevines	7.5-12	1.0-2.0	5.2-12.5
Juveniles	12-17	2.0-3.0	12.5-67
Engorde	17-26	3.0-4.0	67-109
Reproductores	26 a más	4.0-5.0	109 a más

Fuente: Tomado de “Manual de Crianza de Truchas en Ambientes Convencionales”, por FONDEPES, 2014

El manejo técnico de la crianza de truchas radica en la correcta aplicación de los parámetros de crianza que permita el buen desarrollo en el proceso productivo de ellas, obteniendo un producto de calidad en el menor tiempo y con costos mínimos de producción. Entre estos parámetros de crianza se encuentra la clasificación por tamaño (FONDEPES, 2014).



Figura 1.3 Proceso de selección de truchas³

El ciclo de desarrollo de la trucha conlleva a que el piscicultor deba agrupar a las truchas de acuerdo a su etapa de desarrollo, pues es algo frecuente que las de mayor tamaño se alimentan de las más pequeñas, generando pérdidas que afectan la capacidad del criadero (Cartucher, 2010). Por esta razón, se han desarrollado ciertas técnicas tales como la selección y reubicación de truchas por

tamaño, la cual es una actividad programada mensualmente desde la etapa de alevinaje hasta la comercialización. Asimismo, la no realización de esta actividad podría introducir a una competencia desleal de los alimentos en el estanque de crianza generando la dispersión de tallas y el aprovechamiento ineficiente de los alimentos, acciones no deseadas por el piscicultor (FONDEPES, 2014).

1.3 Clasificación de truchas por tamaño y buenas prácticas

Como se mencionó anteriormente, las truchas deberán ser agrupadas según el ciclo de desarrollo en las que se encuentran. Sin embargo, esta práctica supone un gran reto para el piscicultor debido a que requerirá distintas técnicas para cada fase de desarrollo de la trucha. A continuación, se verán alguna de ellas.

1.3.1 Clasificación de alevines

En esta etapa los alevines están depositados en piletas de cemento o fibras de vidrios circulares o rectangulares. Como se muestra en la Figura 1.4, se requiere de un operario el cual usa una caja clasificadora que tiene en el fondo un conjunto de varillas separadas y reguladas, con la finalidad de filtrar los peces.



Figura 1.4 Selección de alevines por tamaño³

³ “Manual Práctico para el Cultivo de la Trucha Arcoíris”, por FAO, 2010

Los alevinos son transportados en baldes desde la pileta o estanque hacia la caja clasificadora, donde se hacen pasar por las varillas reguladas. Los peces que no pasan son contados y colocados en otro estanque aparte (FONDEPES, 2014). Esta técnica es muy usada en el Perú, ya que los peces son de dimensiones pequeñas y solo requiere de un operario por estanque (Woynarovich, A y Hopisty, G., 2014).

1.3.2 Clasificación de truchas adultas

Este tipo de clasificación se da desde la etapa juvenil hasta la etapa reproductora, donde las truchas se encuentran en estanques de concreto (circulares o rectangulares) o jaulas. Este proceso se lleva a cabo por tres operarios. El primer operario transporta las truchas por medio de una red de captura hacia una caja clasificadora. El segundo operario usa una caja clasificadora para filtrar los peces y los que se quedan serán llevados hacia una jaula de red artificial, donde está otro operario dejando los peces (FONDEPES, 2014). Este tipo de selección es más compleja, requiere mayor tiempo además el registro de la cantidad de peces seleccionadas es aproximado, generando que no se obtenga una cuenta exacta de la cantidad de truchas seleccionadas por estanque (Gulland, 1971). En la Figura 1.5 se muestra este tipo de clasificación.



Figura 1.5 Clasificación de truchas adultas³

1.4 Trucha: Necesidad ante la oportunidad

En una entrevista realizada para la presente investigación, al subgerente de la empresa PARAISO-TROUT S.A.C. (ver Anexo A) menciona que los métodos de clasificación más usados en el Perú son de forma manual y cajas clasificadoras, debidos a que las máquinas automatizadas de clasificación tienen un costo elevado, pues están entre 40 000 USD y 80 000 USD. Además, menciona que algunos proveedores peruanos de máquinas de clasificación, no cuentan con el cuidado del pez al clasificarlos. Esto genera estrés, enfermedades y posteriormente muerte del pez. Asimismo, menciona que para obtener un producto de buena calidad se clasifican de 5 a 6 veces por mes en cada criadero.

Por otro lado, en el 2019 se visitó la planta en Canta donde se pudo identificar los defectos de la selección de truchas. En cada criadero hay 5 operarios donde 2 de ellos cuentan con cajas clasificadoras, los demás se encarga de trasladar las truchas seleccionadas a otro criadero. Este trabajo dura entre 4 y 5 horas donde los operarios están de pie, con la espalda inclinada y expuestos a los rayos del sol o al invierno según la estación (ver Figura 1.6). Estas prácticas pueden suponer un riesgo disergonómico, según la norma de ergonomía (Ministerio de Trabajo y Promocion del, 2008), generando enfermedades y problemas físicos en los operarios.



Figura 1.6 Proceso de clasificación de truchas por cajas clasificadoras³

1.5 Definición del problema técnico

En conclusión, según lo antes mencionado, existe la necesidad de clasificar las truchas por tamaño en la etapa adulta (juvenil, engorde y reproductor) donde se reduzca la mano de obra, disminuya el riesgo disergonómico y proteger la integridad física del pez. Esto puede lograrse aplicando tecnologías que incrementen la competitividad en el mercado y que sea económicos para los productores de trucha. De esta manera, se opta por el diseño de un sistema mecatrónico, el cual de una solución a las necesidades anteriormente mencionadas.



2. ESTADO DEL ARTE

Evidenciada la problemática, se presenta un resumen de equipos comerciales, tesis, patentes, actuadores, sensores y controladores, que permitan conocer la situación actual de la tecnología relacionado a este proceso productivo.

2.1 Equipos comerciales para la selección de peces

En esta sección se presenta los equipos que existen en la selección de peces por tamaño.

➤ Caja clasificadora ajustable

Esta caja clasificadora consiste en una caja de madera, metal o de fibra de vidrio (ver Figura 2.1), el cual cuenta con ranuras montados en su base. Estos son utilizados por un operario dentro de un estanque de truchas donde, según el tamaño que desea seleccionar, se regula la abertura entre ranuras y así filtra las truchas de un tamaño en específico; mientras que las truchas de menor tamaño, caen por la abertura hacia el estanque (FAO, 2010).



Figura 2.1 Caja clasificadora⁴

⁴ "AQUACULTURE & WATER TECHNOLOGY", por ACUITEC, 2019

➤ **Clasificadora de peces vivos ACUINUGA**

Esta máquina es una clasificadora de peces de alta precisión (ver Figura 2.2), permite clasificar a los peces de distintas especies, sin daños en el tegumento y/o escamas. Está diseñado para ser acoplado a una bomba de extracción de peces y contador de peces electrónicos. Las cintas clasificadoras y sistema de rodillos, continuamente irrigados por agua, aseguran al paso suave de los peces por la máquina. Puede seleccionar de 1000 a 8000 kg/h por medio de 4 canales de selección (ACUINUGA, 2015).



Figura 2.2 Clasificadora de peces vivos ACUINUGA⁵

➤ **Clasificador de peces VAKI**

El equipo tiene una forma Hexa-decagonal y cuenta con 16 compartimientos (ver Figura 2.3) que rotan, ya que a medida que los peces ingresan por el inlet (ingreso de peces) la abertura del filtro aumenta automáticamente a la medida predefinida por el usuario, clasificando por el grosor del pez. Este equipo cuenta con una capacidad de 20 000 peces/hora y clasifica peces en un rango de tamaño desde 0.2g hasta 200 g. Además, está construida en acero inoxidable y es completamente portátil (PENTAIR, 2016).

⁵ “Ficha Técnica Número/ Última Revisión: 510/ 150518”, por ACUINUGA, 2015



Figura 2.3 Clasificadora de peces VAKI⁶

➤ Clasificadora de pescado HELIOVISION 50

Esta máquina (ver Figura 2.4) no solo selecciona peces por tamaño de manera automática, sino que cuenta con sensores que determinan la cantidad de peces que son depositados hacia los estanques. Este requiere de una bomba de extracción de peces que los traslade hacia la tolva, donde, por medios mecánicos, se realiza la separación por tamaños. Además, la máquina cuenta con un sistema de inyección de agua, debido a que el pez tenga contacto con el agua y así evite el estrés. Entre las características cuenta con tres tamaños de selección. Además, clasifica peces en un rango de 50g y 2.5kg; y cuenta con una capacidad de 10 200 peces/h (FAIVRE, 2017b).



Figura 2.4 Clasificador de pescado HELIOVISION 50⁷

⁶ "AQUACULTURE & WATER TECHNOLOGY", por ACUITEC, 2016

⁷ "Clasificadora de pescado para la acuicultura HELIOVISION", por FAIVRE, 2017

➤ Clasificadora de peces planos QGRADER

El proceso de selección de esta máquina se basa en la identificación del tamaño del pez, por medio de una cámara de alta definición. Todo el proceso es monitoreado por el usuario, el cual podrá observar, por medio de una interfaz, la cantidad de peces que pasan por los canales de selección (ver Figura 2.5). Tiene una capacidad de 12 200 peces/h y selecciona peces de 2g hasta 6g (Integraqua, 2018).



Figura 2.5 Clasificadora de peces planos QGRADER⁸

2.1.1 Tabla comparativa de tecnologías presentadas

En la Tabla 2.1 se muestra un cuadro comparativo de las tecnologías presentadas anteriormente. La capacidad (peces por hora), tecnología de clasificación, tamaños del pez y cantidad de rangos a seleccionar, conforman las principales características de cada máquina de clasificación de truchas.

⁸ “QGRADER clasificador de peces planos”, por INTEGRAQUA 2018

Tabla 2.1*Tabla comparativa de máquinas existentes*

Nombre / Marca	Capacidad por línea de procesamiento (peces/hora)	Tamaño del pez (g)	Cantidad de rangos de selección	Tecnología de clasificación
Caja clasificadora / ACUITEC	355	100 -200	2	Ranuras reguladas
HELIOVISION 50 / FAIVRE	10 200	10 - 2 000	3	Canaletas en forma de V
ACUINUGA / ACUINUGA	20 000	0.5 – 5 000	3-5	Cinta clasificadora y rodillos
VAKI / PENTAIR	48 000	10 - 2 000	4	Fuerza centrífuga
QGRADER / INTEGRAQUA	12 200	2-6	4	Visión por computadora

Fuente: Elaboración propia

2.2 Tecnologías asociadas a máquinas de selección de peces

Esta sección se presenta algunas tecnologías que son usadas en la actualidad para el proceso de selección de peces.

➤ **Bomba para peces**

Este equipo se emplea para extraer peces y crustáceos (salmón, trucha, tilapia) desde los estanques, siendo la función principal del mismo, el traslado de los peces por succión mediante un sistema de bombas (ver Figura 2.6). Está diseñado para el traslado a largas

distancias y para funcionar en centros de cosechas o transferencia en forma permanente, debido a que la bomba no causa ningún tipo de daño a los peces durante el traslado. Además, esta bomba es usada de manera complementaria en las diferentes máquinas expuestas anteriormente (FAIVRE, 2017).



Figura 2.6 Bomba para peces⁹

➤ Contador de peces

El contador de peces es un dispositivo muy utilizado en la industria de la acuicultura, las cuales se implementan para contabilizar el número de peces que pasa por un canal de selección (ver Figura 2.7). Este equipo calcula el peso del pez e identifica, por medio de un promedio de pesos, cuantos peces han pasado por el dispositivo. Asimismo, este dispositivo puede ser incorporado en las máquinas seleccionadoras por medio de un sistema de canales como se observa en la Figura 2.7 (Fishcounter, 2016).



Figura 2.7 Contador de peces¹⁰

⁹ “Catalogo Bomba FISH PUM FAIVRE”, por FAIVRE, 2017

¹⁰ “Catalogo FISHCOUNTER”, por AQUASCAN, 2015

➤ **Máquina clasificadora automática**

Esta máquina clasifica peces por tamaño a razón de 100 peces / minuto según el peso, el cual se compone de un sensor de peso, una faja y brazos giratorios (ver Figura 2.8). Primero el pez ingresa a una cubierta, donde el sensor de peso indica al sistema el tamaño del pez. Luego, ingresa a una faja transportadora, la cual traslada al pez hacia los brazos giratorios, donde cada uno de estos cuenta con un tamaño en específico. De esta manera, los brazos se abren dependiendo el peso del pez registrado en la etapa de censado. Por último, el brazo giratorio obliga al pez a ingresar a un reservorio, donde este será depositado (Rehoo, 2020).



Figura 2.8 Máquina clasificadora automática¹¹

2.3 Trabajos de investigación

En esta sección se presentan tesis relacionadas a la clasificación y detección de peces por tamaños.

➤ **Sistema automático de clasificación y cuantificación de peces para la acuicultura**

El sistema consiste en 3 módulos: el primer módulo de recepción de peces vivos, el segundo módulo de medición y el tercer módulo de clasificación (ver Figura 2.9). En el primer módulo las truchas son depositadas en una tolva de superficie inclinada, en donde

¹¹ “Catalogo GELGOOG”, por Owner, 2010

cuenta con un mecanismo de brazo giratorio la cual se selecciona un pez por giro. Esto garantiza que las truchas sean separadas una por una por una y llegar al segundo módulo de medición. El segundo módulo la trucha se traslada por medio de una banda transportadora, que cuenta con acrílicos en ambos lados para posicionar al pez. Una vez que este posicionado, pasa por un láser donde el sistema mide el tiempo que demora en pasar por este; y así obtenido el tiempo y la velocidad de la faja, se obtiene la longitud del pez. Por último, en el módulo de clasificación, se compone de dos compuertas paralelas, las cuales, si giran en el sentido de las manecillas del reloj, el pez se va hacia un estanque y si gira en sentido contrario se dirige hacia otro estanque. La capacidad máxima de selección es de 540 peces/hora. (Paredes Bravo & Pilco Ati, 2015).

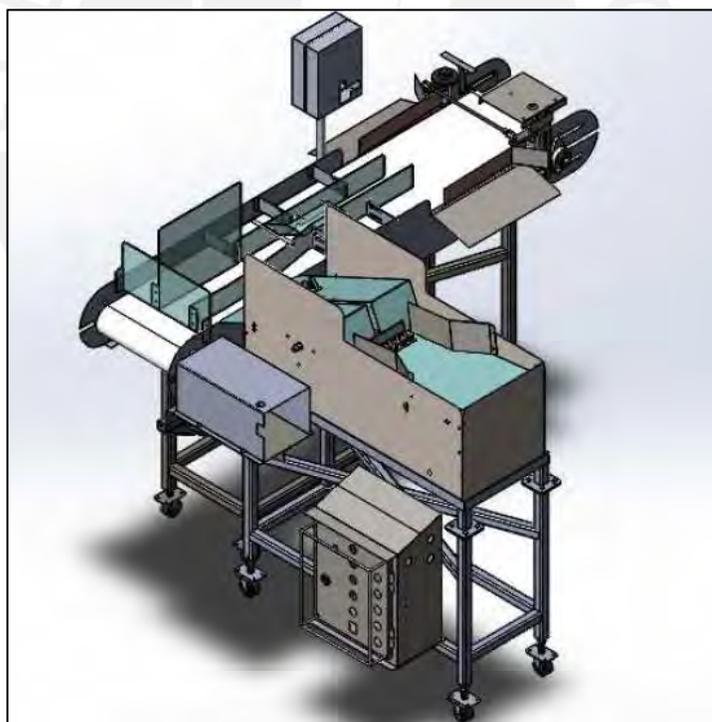


Figura 2.9 Máquina clasificadora de truchas vivas¹²

¹² “Sistema automático de clasificación y cuantificación de peces para la acuicultura”, por Paredes Bravo y Pilco Ati

➤ **Diseño de un algoritmo para la estimación de tamaño de peces por visión**

Esta tesis emplea visión por computadora, utilizando técnicas de procesamiento de imágenes para obtener el tamaño de una trucha en un estanque, implementando un algoritmo de programación. Este consiste en capturar la imagen de un pez, la cual es procesada por una computadora. Se aplican técnicas de procesamiento de imagen obteniéndose así las siguientes características: centroide, tamaño y área del pez (ver Figura 2.10). El diseño del algoritmo es implementado en el software MATLAB y utiliza una cámara profesional CCD – AVC 52 para la captura de imagen (Orellana Lizano, 2008).

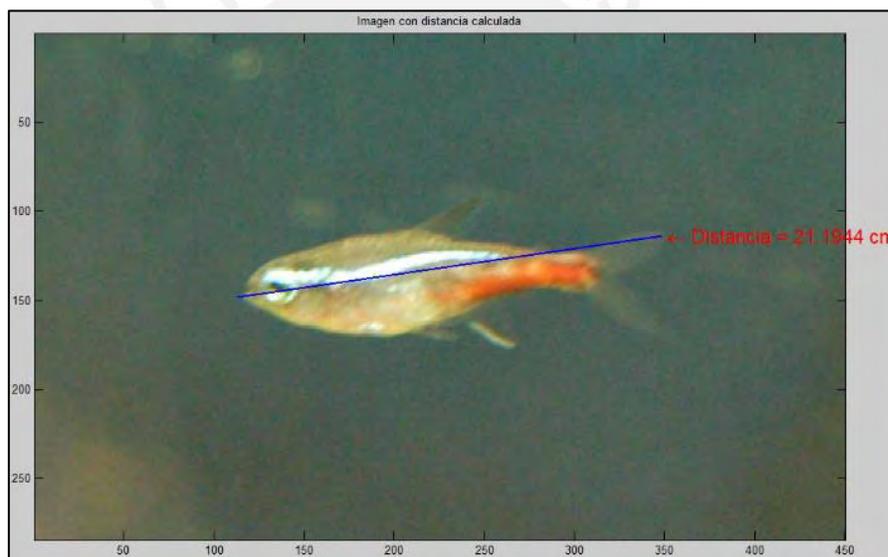


Figura 2.10 Diseño de un algoritmo para la estimación de tamaño de peces por visión¹³

¹³ "Diseño de un algoritmo para la estimación de tamaño de peces por visión", por Orellano Lizano

3. ALCANCES, OBJETIVOS Y REQUERIMIENTOS

Luego del desarrollo de las tecnologías existentes en la clasificación de truchas por tamaño, puede plantearse un objetivo general y objetivos específicos de la presente tesis, así como también limitar los alcances de esta investigación. Además, se realiza una lista de requerimientos a nivel técnico y económico.

3.1 Alcance

- El diseño considera una capacidad de producción máxima de 1 200 peces/hora.
- La zona de instalación requiere una superficie nivelada de concreto o similar capaz de soportar al menos 800 kg.
- Los estanques de entrada y de salida deben estar a una distancia del clasificador no mayor a 3 m.
- La máquina contará con garruchas de tipo rueda loca para poder ser remolcada.
- El presente trabajo de investigación solo considera el diseño de la máquina mas no la fabricación o implementación de la solución.
- La programación del controlador y la interfaz de usuario no forma parte del proyecto.

3.2 Objetivos

En esta sección se presentan el objetivo general y los objetivos específicos para el desarrollo de este trabajo de investigación.

3.2.1 Objetivo general

Diseñar una máquina clasificadora de truchas implementando un sistema de visión por computadora que seleccione peces por tamaño.

3.2.2 Objetivos específicos

- Determinar una lista de requerimientos del sistema a diseñar mediante la definición de la problemática y la revisión de las tecnologías utilizadas actualmente.
- Desarrollar un concepto de solución que reúna las mejores características técnico-económicas según los requerimientos que hagan viable el proyecto.
- Diseñar un sistema mecatrónico siguiendo la metodología VDI 2206 y el diseño de sistemas técnicos y productos VDI 2221.
- Diseñar un subsistema de recepción y singularización que permita almacenar a los peces; y permita separar las truchas para ser clasificadas cada una de ellas posteriormente
- Diseñar un subsistema de aspersión que distribuya agua en los canales donde se traslade el pez para reducir el nivel de estrés, debido a la ausencia del medio líquido.
- Diseñar un subsistema de identificación por imagen que determine el tamaño del pez.
- Diseñar un subsistema de clasificación capaz de derivar a las truchas al depósito correspondiente con su tamaño (juvenil, engorde y reproductor).
- Diseñar un subsistema de interfaz con el usuario.
- Estimar los costos de implementación del proyecto a partir de los procesos de fabricación, diseño mecánico, diseño eléctrico – electrónico y de componentes empleados.

3.3 Lista de requerimientos

Una vez identificado el procedimiento para selección de truchas por tamaños en el marco teórico y luego de la entrevista realizada, se elabora una lista de requerimientos para determinar el

concepto solución. Se consideran exigencias (E) o deseos (D) del usuario final o público objetivo (ver Anexo B).

- **Función principal (E):** La máquina realizará un proceso de clasificación de truchas por tamaño de forma automática.
- **Operación (E):** La máquina deberá procesar como mínimo 1 000 peces / hora
- **Ingreso del material (E):** Los peces serán ingresados hacia la máquina por medio de una bomba de peces (40 peces/minuto como máximo) desde el criadero.
- **Fuerza (E):** En todo el proceso el pez no debe ser sometido a fuerzas que dañen su integridad física (externa e interna).
- **Geometría (E):** Las dimensiones de la máquina no serán mayores a 3.5 m (L) x 1 m (A) x 2 m (H) cuyo largo es limitado por la distancia entre estanques.

- **Señales:**

Se ingresarán las siguientes señales al inicio del proceso:

- ❖ Señal de parada de emergencia: Detendrá la máquina, cuando el operario perciba alguna falla en el proceso.
- ❖ Señal de encendido: Energiza la máquina y distribuye a los distintos sensores y actuadores.
- ❖ Señal de inicio del proceso: Indica el inicio de un nuevo proceso de clasificación.
- ❖ Señal de detención: Detiene el proceso de selección.
- ❖ Señal de apagado: Apaga la máquina completamente.

Se obtendrán las siguientes señales en el término del proceso:

- ❖ Señal de alarma: Esta señal será visual y sonora, activándose cuando haya un mal funcionamiento en la máquina.
 - ❖ Señal del estado del proceso: Esta señal será visual y sonora en un panel de control, la cual indicará el estado del proceso o cuando haya finalizado.
 - ❖ Señal de cantidad de truchas por tamaño: Señal que indica el número de truchas seleccionadas por estanque.
- **Seguridad (E):** Los mecanismos en movimiento tendrán aislamiento mecánico para evitar el contacto humano directo. Además, la máquina será mecánicamente estable incluso en suelos ligeramente inclinados con una pendiente de ángulo no superior a 5°, y las partes eléctricas contarán con aislamiento contra salpicadura de agua con un IP de grado 55 (ARGSeguridad, 2016).
 - **Energía (E):**
El sistema requiere el ingreso de los siguientes tipos de energía:
 - ❖ Energía eléctrica: La alimentación general de la máquina será de 220 VAC 3F y 1P.

La energía saliente del proceso será:

- ❖ Energía mecánica: Los peces clasificados saldrán hacia los estanques con energía cinética y potencial.
- ❖ Energía térmica: Se obtendrá esta energía en forma de calor por la acción de los mecanismos del sistema y por la acción de los dispositivos eléctricos y electrónicos.
- ❖ Energía luminosa: Producido por los indicadores del proceso presentes en el panel de control.

- ❖ **Energía acústica:** Se produce sonido debido a los mecanismos de traslación en el proceso de selección.
- **Material (E):** La estructura soporte deberá contar con protección anticorrosiva y los mecanismos en contacto con los peces y agua serán inoxidable, de tal forma que sus propiedades anticorrosivas frente al agua dulce, los conserve en buen estado. Las superficies de contacto deberán ser lisas, con la finalidad que no dañe el tegumento del pez.
- **Mantenimiento (D):** El acceso a los mecanismos y elementos susceptibles a mantenimiento serán de fácil acceso. Se requerirá un mantenimiento de limpieza de las superficies en contacto con la materia a procesar al terminar el turno de trabajo diario. Un mantenimiento mensual de los mecanismos móviles para ajuste y lubricación de ser el caso; y un mantenimiento anual completo. Además, los repuestos e insumos de mantenimiento deben ser de fácil adquisidor y disponibles en el mercado nacional.
- **Montaje (E):** La máquina deberá ser desmontable en 4 módulos para el traslado a otros lugares de instalación mediante vehículo pick up de carga estándar con tolva de 1.5 m x 1.5 m. Además, el montaje y desmontaje podrá ser realizado sin mayor dificultad por cualquier usuario previa capacitación.
- **Control de calidad (D):** La máquina tendrá un protocolo de revisión de estado en los sensores. Además, debe cumplir con las exigencias de la norma de seguridad nacional NTP.
- **Materia (E):** El caudal de agua dulce que pasa por el sistema debe ser como máximo 1000 cm³/s. La máquina tendrá tres modos de selección, cada modo tendrá una

medida estandarizada por tamaño de trucha. El primer seleccionador separará las truchas juveniles de 12 cm a 17 cm, el segundo, de 18 cm a 26 cm y el tercero de 27 cm a más.

- **Uso (E):** La máquina podrá ser usada en la intemperie, expuesta al sol y lluvia. En periodos largos de descanso requerirá un cobertor plastificado.
- **Costo (D):** El costo de construcción e implementación de la máquina no debería ser superior a 15 000 USD para que sea una alternativa viable en comparación a otras máquinas en el exterior, similares que existen en la actualidad y además pueda ser accesible al productor de truchas peruano
- **Ergonomía (E):** La máquina permitirá una fácil interacción con el usuario mediante un panel de control y durante el proceso no se requería que este realice ningún tipo de carga o descarga de elementos pesados que pongan en peligro su integridad física.
- **Software (E):** El controlador garantizará el correcto funcionamiento en todas las etapas del proceso. Además, los algoritmos implementados en el proyecto serán de código abierto.
- **Comunicación (D):** La máquina contará con botones e indicadores luminosos, a fin de que el usuario este informado del proceso, así como las distintas variables que se controlan. La comunicación entre los componentes de la máquina no debe alterar el correcto funcionamiento del sistema.

4. DESARROLLO DEL CONCEPTO SOLUCIÓN

En este capítulo se presenta el desarrollo del concepto preliminar. La obtención del concepto solución se logra a partir de los siguientes elementos: estructura de funciones y matriz morfológica. Además, se presentan las posibles soluciones que satisfagan las funciones del sistema.

4.1 Estructura de funciones

Conforme a lo establecido anteriormente en relación a la lista de requerimientos del sistema a diseñar, se presentan los pasos previos a la construcción de la estructura de funciones. El primer paso es elaborar la “caja negra” del sistema donde se describe las entradas y salidas basado en la lista de requerimientos. El segundo paso consiste en describir el producto en términos de funciones; es decir, se abstrae cada actividad que realiza el sistema sin mencionar las características físicas. De esta forma se estimula la identificación de nuevas alternativas o soluciones. Finalmente se realiza una estructura de funciones que relacione todas las funciones del sistema.

4.1.1 Caja negra

La caja negra del sistema presenta las entradas y salidas en forma de señal, energía y materia, sin especificar las interrelaciones internas dentro del sistema mismo. En la máquina clasificadora de truchas, primero ingresan energía eléctrica y mecánica, donde la energía eléctrica activa los sensores y actuadores; y la energía mecánica son la energía cinética y potencial debido al ingreso de peces. Luego se obtiene energía térmica, acústica, mecánica y luminosa una vez finalizado el proceso de clasificación. La energía térmica se debe a la disipación en forma de calor de los mecanismos y dispositivos electrónicos; energía acústica debido a la señal de alarma en el proceso; energía mecánica debido a la salida del pez hacia los estanques en forma de energía potencial y cinética; y luminosa debido a los indicadores en el panel de control. En el Anexo C Figura C1 se muestra la caja negra.

4.1.2 Lista de funciones

A continuación, se enlistan las funciones del sistema, el cual se agrupan en 5 sistemas: sistema de materia, sistema de medición, sistema de actuación, sistema de control y sistema de interacción con el usuario. Finalmente se muestra de manera gráfica la interacción de cada una de ellas.

a) Sistema de materia

- **Recibir truchas / Recibir agua:** Espacio donde las truchas y agua permanecerán por un periodo corto antes de ingresar al siguiente proceso.
- **Singularizar truchas:** Mecanismo de singularización con el fin de que las truchas ingresen una por una al sistema de visión.
- **Transportar truchas al sistema de visión:** Mecanismo de transporte hacia el sistema de visión.
- **Mejorar la visibilidad de la trucha:** Método de optimización en la captura de imagen.
- **Separar truchas por tamaño:** Mecanismo de separación de las truchas por tamaño
- **Transportar truchas disposición final:** Mecanismo de transporte de las truchas ya clasificadas.
- **Recibir agua:** Ingreso de agua por parte del usuario.
- **Almacenar agua:** Espacio donde se almacena el agua de la bomba de peces.
- **Transportar el agua hacia las truchas:** Dispositivo que transporta agua desde el espacio de almacenamiento de agua hacia las truchas.
- **Transportar agua hacia los estanques:** Transporte de agua hacia el estanque.

b) Energía, sensores y actuadores

- **Activar mecanismo de singularización:** Mecanismo que separa peces uno por uno.
- **Activar mecanismos de compuertas:** Mecanismo de abre y cierre de compuertas.
- **Activar mecanismo de transporte de agua:** Mecanismo para el traslado de peces hacia el sistema de visión.
- **Activar mecanismo de iluminación:** Mecanismo para activar la iluminación en el sistema de visión.
- **Accionar mecanismo de separación:** Mecanismo que separa las truchas de acuerdo con el tamaño.
- **Accionar mecanismo de transporte final:** Mecanismo que traslada a las truchas al criadero.
- **Energizar:** Provee de energía eléctrica (actuadores, sensores, procesamiento de la información) a los dispositivos electrónicos para el funcionamiento de la máquina.
- **Detectar presencia de máxima de agua:** Sensor que detecta el nivel máximo de agua almacenada en la máquina.
- **Detectar presencia de mínima de agua:** Sensor que detecta el nivel mínimo de agua almacenada en la máquina.
- **Detectar presencia de una trucha antes del sistema de visión:** Sensor que detecta la presencia de truchas antes del ingreso al sistema de visión
- **Adquisición de imagen:** Dispositivo de adquisición de imágenes.
- **Detectar presencia de una trucha antes de clasificación:** Sensor que detecta la presencia de truchas antes de la etapa de separación.

c) Procesamiento de la información

- **Capturar imagen:** Proceso de captura de imagen al pez

- **Extraer características:** Recibir el tamaño del pez
- **Comparar con criterios de selección:** Comparación de los tres tipos de tamaño del pez (juvenil, engorde, reproductor).
- **Registrar cantidad de peces seleccionados por tamaño:** Registra los peces ya seleccionados por cada tipo de tamaño.
- **Controlar variables:** Dispositivo de control que gobierna las distintas funciones del sistema mecanismo de separación, mecanismos de transporte agua; y encendido de iluminarias.

d) Interfaz de entrada y salida

- **Generar señal ON/OFF:** Señal de prendido o apagado de la máquina.
- **Generar señal de inicio del proceso:** Señal que da el inicio del proceso de selección de truchas por tamaño.
- **Generar señal de detención del proceso:** Señal que detiene los sensores y actuadores para la posterior reanudación.
- **Generar señal de parada de emergencia:** Señal que apaga la máquina en su totalidad.
- **Encender Señal de alarma:** Señal que indica alguna falla técnica en el proceso de selección.
- **Mostrar estado del proceso:** Señal que muestra la cantidad de peces por tamaños seleccionados en el proceso.
- **Encender indicadora de alimentación** Señal que indica si el equipo está energizado.

En el Anexo C Figura C2 se elaboró una imagen que indica la interacción de las funciones por cada bloque de la lista dada anteriormente.

4.2 Matriz morfológica

En la estructura de funciones se presenta como máximo tres portadores de solución basados en tecnologías revisadas previamente en el estado de arte. Esto se realiza con la finalidad de optimizar la conceptualización en la solución de la presente tesis, realizando una matriz por cada sistema de las funciones descritas anteriormente. Las funciones se han agrupado por 3 matrices: sistema de materia, sensores y procesamiento de la información – control, donde cada matriz contiene 3 diferentes soluciones para cada función.

En esta matriz no se ha considerado los sistemas actuadores y energía, debido a que las funciones de estos están estrechamente ligadas al sistema materia y sistema sensores respectivamente. Por ello, se seleccionará cada componente cuando se haya elegido la solución óptima.

A continuación, en la Tabla 4.1 se presenta el indicativo para cada solución y las diferentes matrices morfológicas para cada sistema. En el Anexo D se muestran las interacciones de las funciones de cada matriz.

Tabla 4.1

Leyenda de indicadores en la matriz morfológica

Indicador	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Flecha			

Fuente: Elaboración propia

4.3 Concepto solución

Una vez realizado la matriz morfológica, se presentan 3 soluciones para este proyecto, donde cada solución contiene la combinación de cada propuesta planteada anteriormente. Estas soluciones se separan por subsistemas debido a la cantidad de proceso que desarrolla la máquina.

Estos son: subsistema de recepción y singularización, subsistema de aspersión, subsistema de captura de imagen, subsistema de clasificación y subsistema de interfaz con el usuario.

Cabe resaltar que cada solución no muestra a detalle los mecanismos internos, sino un bosquejo general, resaltando las funciones parciales de la máquina. Además, el subsistema de aspersión solo se menciona en la solución 1, debido a que en las posteriores soluciones se utiliza el mismo concepto. Las imágenes de cada concepto solución se muestran en el Anexo E.

4.3.1 Concepto solución 1

- **Subsistema de recepción y singularización**

Como se mencionó anteriormente los peces son trasladados desde un criadero hacia la máquina por medio de una bomba de peces, el cual podrá acoplarse a la máquina. Luego los peces y el agua ingresan hacia una tolva (1), donde se encuentra un desagüe (2) que filtra el agua para separarlo de los peces. Esta agua es llevada por medio de un canal hacia un criadero o una piscigranja cercana. Posteriormente los peces ingresan a un contenedor en forma de embudo (3) que cuenta con un canal V donde estos se alinean uno por uno, para ser singularizados.

- **Subsistema de aspersión**

El agua es ingresada por el usuario a un depósito (4) para ser rociada al pez en todo el trayecto del siguiente subsistema. Esto es con la finalidad que el pez se traslade con facilidad en el subsistema de captura de imagen y no estresarlas por la falta de agua. El agua ingresa hacia la rampa inclinada por medio de una bomba (5), donde luego cae hacia un desagüe (11) para posteriormente dirigirse hacia un estanque cercano. Cuando el agua del depósito llegue hacia una distancia cercana a la base, un sensor capacitivo mandará una señal hacia el sistema

indicando al usuario que se requiere agregar agua. Luego, un sensor capacitivo indicará cuando el agua haya llegado al tope del depósito.

- **Subsistema de captura de imagen**

En este subsistema el pez, ya singularizado, ingresa a una rampa (6), donde entra a una cubierta (7) en la que se encuentra una cámara industrial (8) que captura la imagen de este para procesarla y determinar el tamaño. Antes de ello, un sensor de ultrasonido (9) detecta la presencia del pez, el cual indicará al sistema el inicio de la captura de imagen. Al finalizar la rampa se encuentra un sensor de ultrasonido (10) que detectará el paso del pez para ser clasificado en el siguiente subsistema.

- **Subsistema de clasificación**

Una vez que se haya determinado el tamaño del pez, este pasa por un conjunto de tres fajas transportadoras rotacionales, el cual cada una de ellas se abre, mediante motores (12), dependiendo el tamaño hallado. Es decir, la primera faja (13) se abre si el tamaño del pez es del tamaño juvenil, la segunda faja (14) si es engorde y la tercera faja (15) si es reproductor. Por último, el pez ingresa hacia unos depósitos (16) dependiendo la selección hecha.

- **Subsistema de interfaz y control**

Este subsistema cuenta con un tablero de interfaz (17), donde se ubica una pantalla HMI para visualizar el estado del proceso, llave selectora para la alimentación de energía eléctrica y un pulsador de parada de emergencia. Además, dentro del tablero se encuentra el controlador PLC que acciona los actuadores y sensores del equipo. Por último, un sistema embebido realiza el procesamiento de imagen.

4.3.2 Concepto solución 2

- **Subsistema de recepción y singularización**

Al igual que la solución 1, los peces ingresan a la tolva por la entrada (1), gracias a una bomba de peces desde una piscigranja. Los peces son singularizados por medio de un brazo giratorio (2), donde este coge cada pez para ser llevado a la siguiente etapa del proceso. Esto permite que los peces sean separados uno por uno. Además, el flujo de agua que ingresa a la máquina se traslada por un canal de desagüe (3), el cual conduce hacia un estanque o piscigranja cercana.

- **Subsistema de captura de imagen**

Una vez que el pez sea singularizado, un sensor fotoeléctrico de presencia (6), detectará cada pez que ingrese a la cubierta (7) para que dé inicio a la captura de imágenes. De esta manera, una cámara industrial (8) tomará varias imágenes, con la finalidad que el sistema los procese y determine el tamaño de cada trucha. Asimismo, los peces estarán alineados gracias a un canal V (9) que se encuentra en toda la superficie inclinada (10). Al finalizar el tramo inclinado, otro sensor fotoeléctrico (12), indicará al sistema el accionamiento del subsistema de clasificación.

- **Subsistema de clasificación**

Este subsistema consta de una faja transportadora (13) y 2 brazos giratorio (14) dispuestos de manera simultánea. Cada brazo giratorio direcciona a los peces hacia los depósitos (15) de truchas dependiendo el tamaño que tiene cada pez (juvenil y engorde). Al finalizar la banda transportadora el pez de mayor tamaño (reproductor) descenderá al último depósito de peces (16).

- **Subsistema de interfaz y control**

El subsistema cuenta con un tablero (17) de mando donde se encuentra una llave termomagnética para alimentar eléctricamente todo el sistema. También cuenta con una minicomputadora (Raspberry) y una pantalla LCD, el cual sirve para ver estado del proceso y realizar el procesamiento de imagen; y un pulsador que iniciará o detiene el proceso. También se encuentra un microcontrolador, con la finalidad de accionar los sensores y actuadores del sistema. Por último, se encuentra un pulsador de parada de emergencia que desactivará la alimentación completamente.

4.3.3 Concepto solución 3

- **Subsistema de recepción y singularización**

En el concepto solución 3 los peces ingresan a una rampa inclinada (1). A diferencia de los conceptos soluciones 1 y 2, la máquina no tiene una entrada que pueda acoplarse a la bomba de peces. El agua ingresada a la máquina pasa por un desagüe (2) donde se traslada hacia un estanque. Al finalizar la rampa, se encuentra una banda transportadora (3) de forma vertical con sujetadores, el cual causa que los peces queden sujetos uno por uno y sean singularizados.

- **Subsistema de captura de imagen**

De igual forma que el concepto solución 2, el pez ingresa a una superficie inclinada (6) donde se alineará de manera vertical a causa del canal V (7). Luego pasa por un sensor capacitivo de presencia (8) el cual da inicio a la cámara web (9) para la captura de imagen en la cubierta (10). Al finalizar la superficie inclinada, se encuentra un sensor capacitivo de presencia (12), el cual manda una señal para el proceso de clasificación en el siguiente subsistema.

- **Subsistema de clasificación**

El subsistema cuenta con una banda transportadora (13) y unas compuertas paralelas (14). Estas compuertas dirigirán al pez, conforme al tamaño que estos tienen, hacia los almacenes (15) ya definidos por tamaños (juvenil, engorde). Finalmente, si el pez es de tamaño reproductor, descenderá hacia el almacén (16).

- **Subsistema de interfaz y control**

El subsistema cuenta con un tablero de mando (17) donde se encuentra una llave selectora que alimente eléctricamente a todo el sistema. También cuenta con un pulsador que se encarga de iniciar el proceso y detener el proceso de selección. Además, se utiliza un controlador PID de lazo cerrado para controlar los sensores y actuadores. Por último, cuenta con un sistema embebido que realiza el procesamiento de la imagen y una pantalla TFT para visualizar el estado del proceso.

4.4 Evaluación técnica - económica

Se realiza una evaluación de carácter técnico económico a cada uno de los 3 conceptos de solución planteados. Para calificar el cumplimiento de cada criterio, se consideran niveles de valoración del 0 al 4. A continuación se presenta evaluando distintos criterios en cada solución.

A partir de las siguientes tablas se analiza cual es la mejor opción realizando un balance técnico y económico de las soluciones. De esta manera, se concluye que la solución 2 presenta un mejor balance, debido a que obtiene mayor puntaje en los criterios técnicos y económicos, por lo que será la solución tomada para realizar el diseño base en el siguiente capítulo.

Tabla 4.2*Evaluación técnica de la solución 1*

Criterios Técnicos	Solución 1	Solución ideal	Argumento
Probabilidad de daño al pez	2	4	Pez podría sufrir aplastamiento en la tolva en forma de embudo.
Velocidad de captura de imagen	4	4	Amplia velocidad dedicado al procesamiento de imágenes.
Velocidad de procesamiento	3	4	Mayor velocidad de procesamiento del sistema embebido.
Total	9	12	

Fuente: Elaboración propia**Tabla 4.3***Evaluación económica de la solución 1*

Criterios económicos	Solución 1	Solución ideal	Argumento
Fácil adquisición	2	4	Difícil adquisición del sistema embebido.
Productividad	1	4	Es más probable formar un cuello de botella en la tolva en forma de embudo.
Costo de fabricación	2	4	Mayor costo del sistema embebido dedicado a cada función
Costo de la tecnología	2	4	Costo elevado de los componentes electrónicos (sensores y actuadores)
Total	7	16	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4*Evaluación económica de la solución 2*

Criterios económicos	Solución 2	Solución ideal	Argumento
Probabilidad de daño al pez	3	4	Menor daño a la integridad física del pez.
Velocidad de captura de imagen	4	4	Amplia velocidad dedicado al procesamiento de imágenes.
Velocidad de procesamiento	3	4	Mayor velocidad de procesamiento de la Raspberry (GPIO).
Total	10	12	

Fuente: Elaboración propia**Tabla 4.5***Evaluación económica de la solución 2*

Criterios económicos	Solución 2	Solución ideal	Argumento
Fácil adquisición	3	4	Fácil adquisición de los componentes en el mercado local
Productividad	3	4	Menor probabilidad de formar cuello de botella.
Costo de fabricación	3	4	Menor costo de fabricación, debido a que los componentes electrónicos ya están fabricados.
Costo de la tecnología	2	4	Costo elevado de los componentes electrónicos (sensores y actuadores)
Total	11	16	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6*Evaluación económica de la solución 3*

Criterios económicos	Solución 3	Solución ideal	Argumento
Probabilidad de daño al pez	2	4	Mayor probabilidad que el pez caiga fuera de la máquina, debido a la singularización por la banda transportadora.
Velocidad de captura de imagen	1	4	Menor velocidad de procesamiento de la cámara web.
Velocidad de procesamiento	2	4	Mayor velocidad de procesamiento del sistema embebido.
Total	5	12	

Fuente: Elaboración propia**Tabla 4.7***Evaluación económica de la solución 3*

Criterios económicos	Solución 3	Solución ideal	Argumento
Fácil adquisición	1	4	Difícil adquisición del sistema embebido.
Productividad	1	4	Es más probable perder peces fuera de la máquina.
Costo de fabricación	2	4	Mayor costo del sistema embebido dedicado a cada función
Costo de la tecnología	2	4	Costo elevado de los componentes electrónicos (sensores y actuadores).
Total	6	16	

Fuente: Elaboración propia

5. ASPECTOS PRELIMINARES DE DISEÑO

En este capítulo se presentan cálculos preliminares que sustentan la elección del concepto solución seleccionado en el capítulo anterior. También se evalúa las dimensiones y parámetros de la máquina para obtener el diseño mecatrónico óptimo.

5.1 Análisis de productividad

La productividad de una máquina industrial depende directamente de la eficacia de los procesos de producción, garantizando menor tiempo y menores recursos invertidos de modo que generen más ingresos que costes (Gestion, 2020). Por ello, es importante evaluar en una línea de producción dónde se genera posibles cuellos de botella, el cual ocasiona reducción en la eficacia del proceso. De esta manera, se analiza que el tiempo de clasificación en la máquina dependerá del mecanismo de singularización y en el canal en forma de V.

5.1.1 Mecanismo de singularización

En el trabajo de investigación sobre una máquina clasificadora de truchas vivas, descrita en el estado de arte, se utilizó el mecanismo de garra (ver Figura 5.1). Los resultados experimentales descritos fueron que la velocidad de la garra a 30 rpm y con un radio de giro de 170 mm es la más adecuada, debido a que no daña la integridad del pez (Paredes Bravo & Pilco Ati, 2015).



Figura 5.1 Brazo giratorio de singularización¹⁴

Tomando como referencia el anterior trabajo de investigación, se calcula que la garra puede coger 60 peces / minuto como máximo, debido a que el mecanismo de giro cuenta con dos garras. Esto también depende de la velocidad de la bomba de peces o la velocidad con la que el usuario coloque cada pez. Según se mencionó en el estado del arte la velocidad de las bombas de pez son regulables. Por ello, para esta tesis se considera una velocidad referencial de 40 peces / minuto en la bomba. De esta manera, en la Tabla 5.1 se muestran 3 opciones, con características similares, de bombas de peces utilizadas en el mercado actual. Se selecciona la bomba APOLLO Z-100-S, debido a su menor costo.

Tabla 5.1

Características de la bomba de peces

Características principales de bomba para peces	APOLLO Z-100-S	ACUINUGA	VAKI
Tamaño de pez	1-250g (trucha, salmón y anguila)	1 – 1000g (trucha, salmón)	0.2 – 400g (trucha, salmón y anguila)
Potencia	1.5 – 2.2 kW	5.5 kW	3.6 kW
Capacidad de peces / hora	8 m ³ / hora	3-4 m ³ /hora	2.4 m ³ /hora
Altura máxima de transferencia	6m	8m	9m
Costo (S/.)	~25 540	~32 600	~30 870

Fuente: Catálogo de bomba para peces APOLLO / Bomba ACUINUGA / Bomba para peces vivo VAKI

5.1.2 Canal en forma de V

En el concepto solución óptimo luego de que los peces hayan sido singularizados, estos ingresan a una superficie inclinada, donde, gracias a un canal en forma de V, se alinean para ingresar a la cubierta de captura de imagen. Sin embargo, realizando un análisis se concluye que posiblemente los peces de mayor longitud queden atascados cuando la abertura del canal sea más

angosta. Esto debido a que los peces ingresan a la superficie inclinada de forma perpendicular al canal como se ve en la Figura 5.2 (a).

Para solucionar este problema se opta por utilizar rodillos laterales como se ve en la Figura 5.2 (b). Esta disposición de rodillos genera que los peces sigan el trayecto del canal debido a la rodadura que se produce entre el pez y cada rodillo.

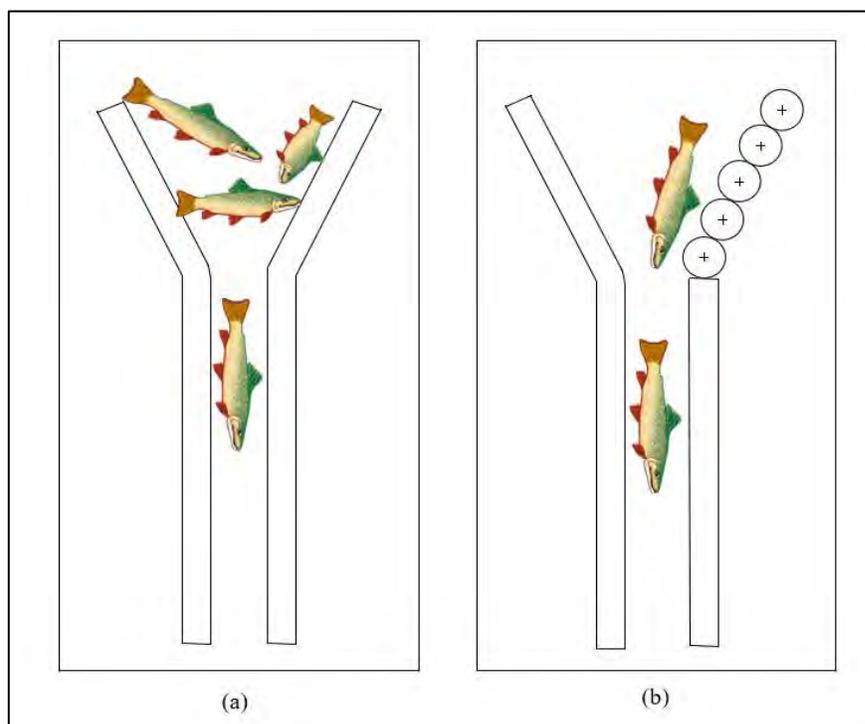


Figura 5.2 Canal V (a), Canal V con rodillos (b). Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Tolva de recepción de truchas

Es necesario que el pez sea singularizado de forma eficiente y que no produzca un cuello de botella en este proceso. Por ello, es necesario que el pez ingrese a la máquina con una disposición adecuada que permita mayor rendimiento en la etapa de singularización. Por tanto, se diseña una tolva de recepción de tal forma que cumpla con el objetivo anteriormente mencionado.

En el concepto solución seleccionado se dispuso que el pez ingrese de manera perpendicular hacia la garra (ver Anexo, Figura E2), el cual supone una deficiencia en la etapa de singularización, ya que no garantiza que el pez sea separado de manera rápida generando un posible cuello de botella en la tolva de recepción. Por ello, se realiza un diseño óptimo el cual ocasiona que el pez se traslade por una superficie inclinada llegando a la garra de manera horizontal.



Figura 5.1 Diseño óptimo de la tolva. Fuente: Elaboración propia.

5.2 Compuertas de seguridad

La tolva de recepción y la rampa de captura de imagen cuentan con un orificio cada uno, debido a que son accesos por donde pasa el brazo giratorio de singularización. Esto es un problema, ya que el pez podría caer por dichos orificios afectando la integridad de ellos y dañando la máquina. Por ello, se opta por utilizar compuerta de seguridad (ver Figura 5.2) las cuales se abren cuando pasa el brazo giratorio y se cierran cuando pase un pez. El mecanismo de abre y cierre de compuertas se observa más a detalle el siguiente capítulo.

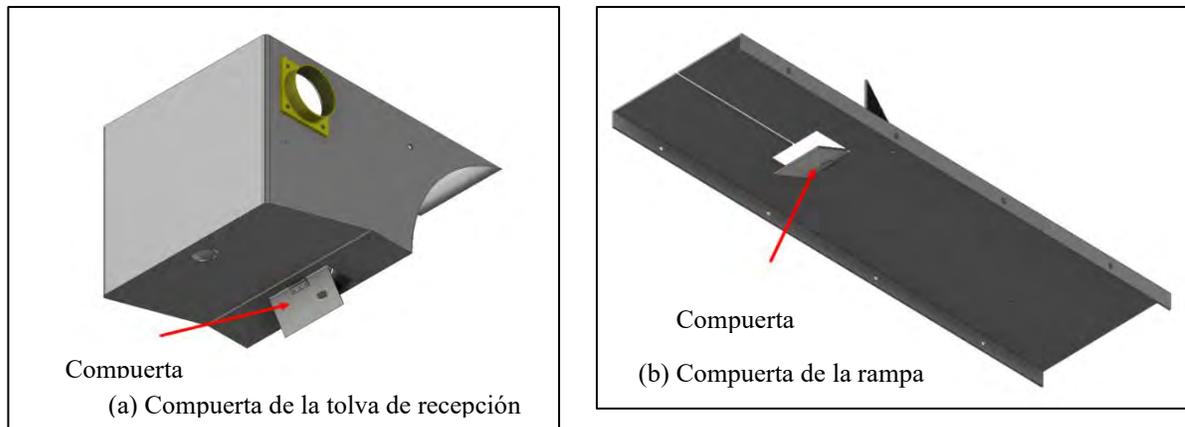


Figura 5.3 Compuertas de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

5.3 Dimensionamiento de la rampa de captura de imagen

En esta sección se dimensiona la rampa del subsistema de captura de imagen realizando un análisis cinemático y dinámico del pez. Esta información es útil, ya que las cámaras comúnmente cuentan con una tecnología de 30 FPS (30 fotogramas por segundo), el cual indica que el tiempo del pez en la rampa deberá ser mayor para capturar la mayor cantidad de imágenes. Por ello, se analiza el movimiento lineal del pez en una rampa inclinada, para determinar el coeficiente de rozamiento cinético entre la rampa y el pez. Por último, con este dato se calcula el ángulo de inclinación y longitud de la rampa cumpliendo el objetivo de capturar la mayor cantidad de imágenes.

5.3.1 Análisis cinético

Se realizaron ensayos con dos truchas y una plancha de acero inoxidable 304 (ver Figura 5.4) para obtener el coeficiente de rozamiento cinético. Además, se agrega agua a la superficie, debido a que el concepto solución óptimo cuenta con un subsistema de aspersion que riega el plano inclinado.



(a) Plancha AISI 304



(b) Trucha

Figura 5.4 Materiales de ensayo

Asumiendo que la velocidad de ingreso es despreciable ($V_0 = 0$) se elabora un modelo cinemático, con la finalidad de obtener la aceleración del pez en toda su trayectoria.

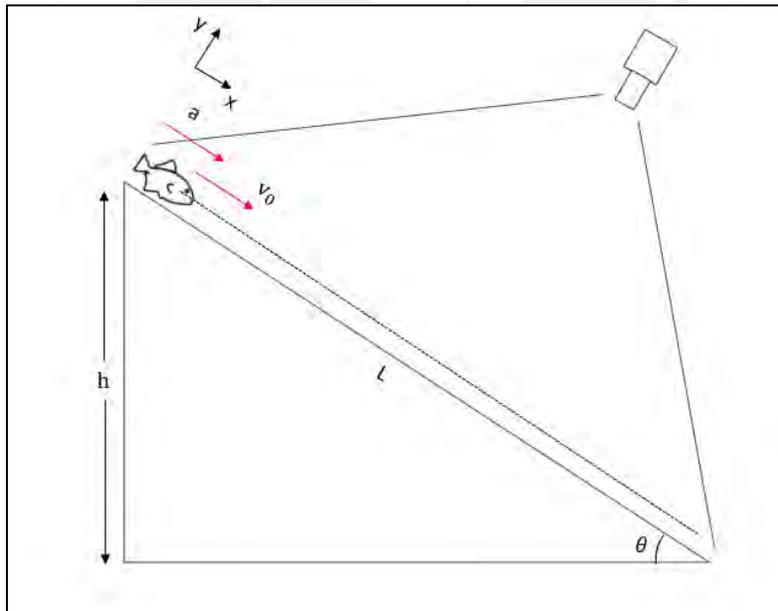


Figura 5.5 Modelo cinemático. Fuente: Elaboración propia.

$$L = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (5.1)$$

$$a = \frac{2L}{t^2} \quad (5.2)$$

Luego se realiza un análisis dinámico aplicando el principio de D' Alembert según la ecuación (5.3).

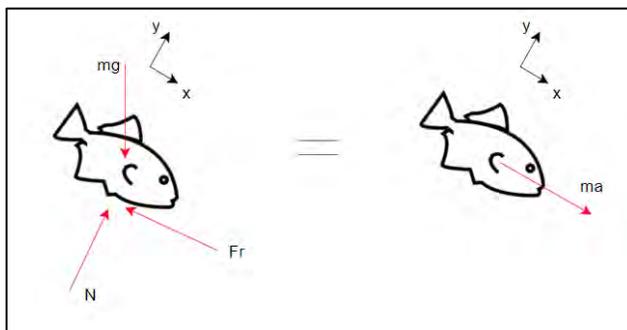


Figura 5.6 Modelo dinámico. Fuente: Elaboración propia.

$$\sum F_x = ma \quad (5.3)$$

$$mg \operatorname{sen} \theta - Fr = ma \quad (5.4)$$

$$Fr = \mu N \quad (5.5)$$

$$N = mg \operatorname{cos} \theta \quad (5.6)$$

Remplazando las ecuaciones (5.4) y (5.6) en (5.5) y despejando, el coeficiente de rozamiento cinético resulta:

$$\mu = \frac{g \operatorname{sen} \theta - a}{g \operatorname{cos} \theta} \quad (5.7)$$

Por último, reemplazando la ecuación (5.2) en (5.8) se obtiene.

$$\mu = \frac{g \operatorname{sen} \theta - \frac{2L}{t^2}}{g \operatorname{cos} \theta} \quad (5.8)$$

Donde el ángulo (θ) se calcula según la ecuación (5.9).

$$\theta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{h}{L}\right) \quad (5.9)$$

En los ensayos se obtuvieron los resultados del tiempo de caída en la rampa, el ángulo de inclinación, la longitud recorrida del pez y la altura. Los resultados se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2

Resultado de ensayos

Tipo de pez	Longitud (L)	Altura (h)	Angulo (θ)	Tiempo (t)	Coefficiente de rozamiento (μ)
Reproductor	1107.6 mm	440 mm	23.4°	1.72 s	0.35
Engorde	1107.6 mm	440 mm	23.4°	1.48 s	0.32
Promedio					0.33

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el valor del coeficiente de rozamiento cinético, se procede a calcular el tiempo que el pez permanecerá en la rampa. Se despeja el tiempo en la ecuación (5.9) y se calcula el tiempo, asumiendo que $L = 600$ mm en la Tabla 5.3.

$$t = \sqrt{\frac{2L}{(g\text{sen}\theta - \mu g\text{cos}\theta)}} \quad (5.10)$$

Tabla 5.3

Resultado teórico

Longitud (L)	Angulo (θ)	Gravedad (g)	Coefficiente de rozamiento (μ)	Tiempo (s)
600 mm	25°	9.8 m/s ²	0.33	0.99

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el tiempo de permanencia del pez en la rampa es de 0.99 segundos, el cual es ideal, ya que se obtiene la mayor cantidad de fotogramas para el procesamiento de imágenes.

6. DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

En el presente capítulo se presenta el desarrollo del diseño mecatrónico de todo el sistema. En primer lugar, se realiza una descripción de todo el proceso que realiza la máquina para clasificar las truchas por tamaño. A continuación, se describe el proceso de diseño analizando cada subsistema: subsistema de recepción y singularización, subsistema de aspersión, subsistema de captura de imagen, subsistema de clasificación y subsistema de interfaz con el usuario. Este proceso detalla la selección de componentes realizando cálculos en el dominio mecánico y electrónico. Luego se presenta el diseño electrónico y de control donde se describe la interacción de todos los componentes electrónicos ya seleccionados. Por último, se presenta la lista de planos mecánicos eléctricos y electrónicos.

6.1 Descripción del diseño mecatrónico

En la Figura 6.1a se muestra el diseño general en vista isométrico de la máquina clasificadora de truchas con dimensiones generales 3.4 m x 0.8 m x 1.8 m. Se observa que la máquina se compone de 5 subsistemas, los cuales cumplen diferentes funciones en el proceso. También la máquina se divide en 3 secciones (ver Figura 6.1b) para el fácil acceso del mantenimiento, montaje y desmontaje. Además, en cada una de las secciones tiene 4 garruchas de soporte para la movilidad del equipo. El tablero de mando se encuentra a 1.5 m del suelo, donde se ubican el interruptor de alimentación, el botón de emergencia, el botón de encendido y el botón de apagado. Asimismo, cuenta con una alimentación de 220 VAC monofásica. Los componentes principales del equipo son: 1. Tolva de recepción, 2. Brazo giratorio, 3. Rampa de captura de imagen, 4. Reservorio de agua, 5. Canal de desagüe, 6. Cubierta de captura de imagen, 7. Banda transportadora, 8. Brazo de selección juvenil, 9. Brazo de selección engorde.

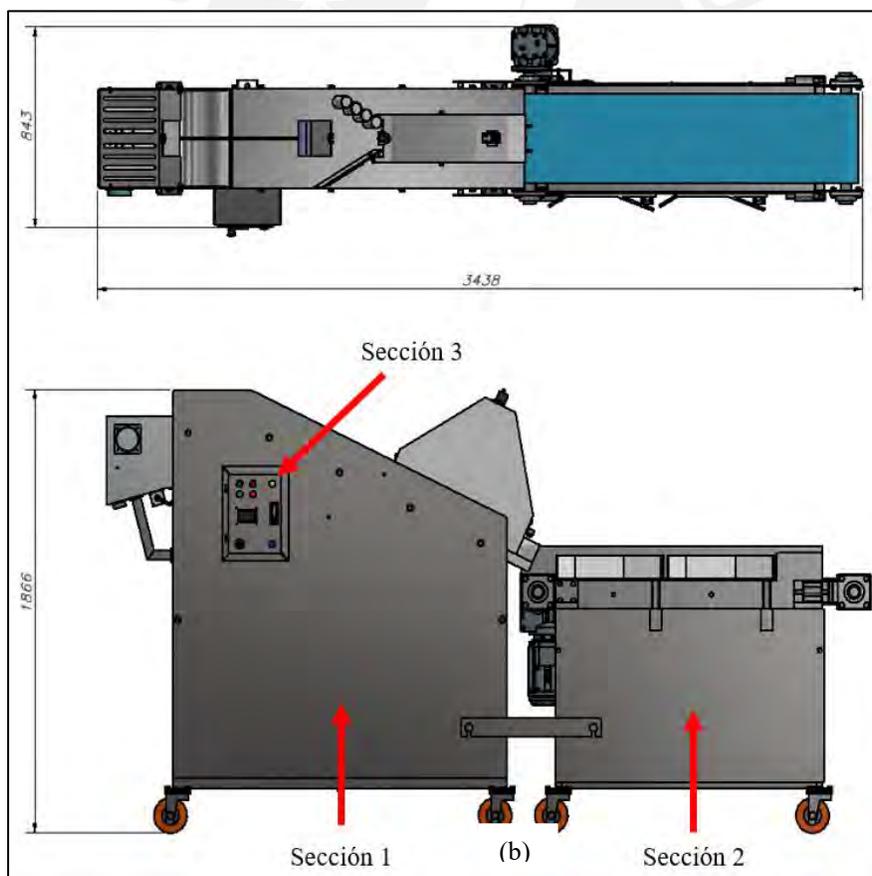
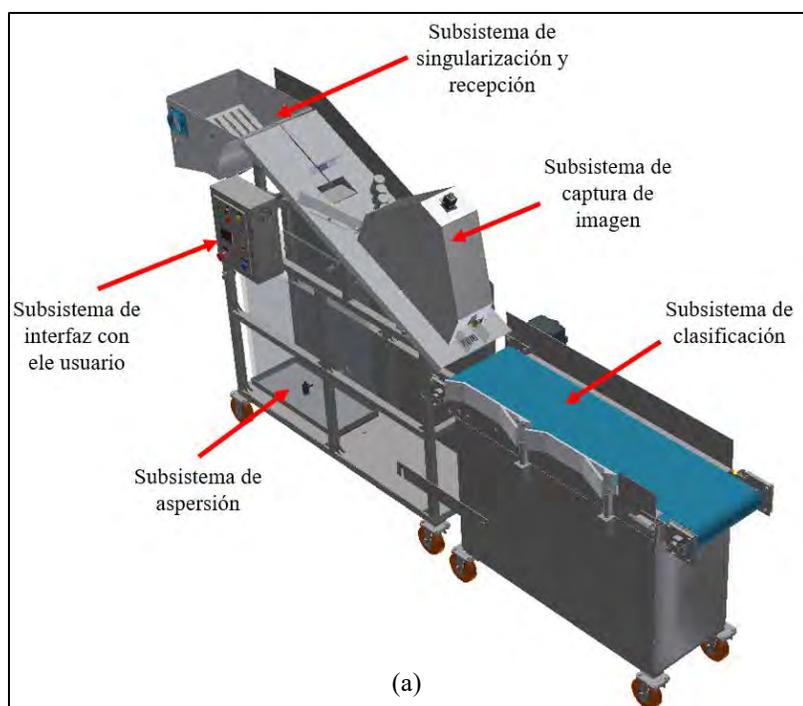


Figura 6.1 Vista isométrica del clasificador de truchas (a). Dimensiones generales (b). Fuente: Elaboración propia.

A continuación se detalla el proceso de selección de truchas desde que el pez ingresa a la máquina hasta que este sea clasificado (ver Figura 6.2). Los peces y el agua ingresan hacia la tolva (1), donde el agua cae por un canal de desagüe y los peces se deslizan por una superficie inclinada. Luego estos son singularizados por medio de un brazo giratorio (2), el cual los separa uno por uno. Posteriormente el pez cae por una rampa inclinada (3), trasladándose hacia la cubierta de captura de imagen. Para facilitar el traslado del pez por la rampa inclinada, este es rociado por agua el cual se encuentra en el reservorio (4). El agua es llevada hacia la rampa por medio de una bomba y desciende por un canal de desagüe (5) hacia un criadero cercano. El pez es dispuesto en forma vertical gracias a los rodillos y al canal en forma de V para entrar a la cubierta (6), en donde son capturados hasta 8 imágenes por medio de una cámara que se encuentra en la parte superior de la cubierta. Las imágenes son procesadas por medio de una raspberry, calculando el tamaño del pez. A continuación, el pez ingresa a una banda transportadora (7), donde es seleccionado de acuerdo al tamaño (juvenil y engorde), por medio de los brazos de selección (8) y (9). Si la máquina detecta que es de tamaño reproductor, los brazos de selección no se abren y el pez pasa hacia el final de la banda transportadora. Finalmente, los peces seleccionados descienden hacia las cubetas colocadas por el usuario según el tamaño. Es importante recalcar que las cubetas no forman parte del diseño de la máquina.

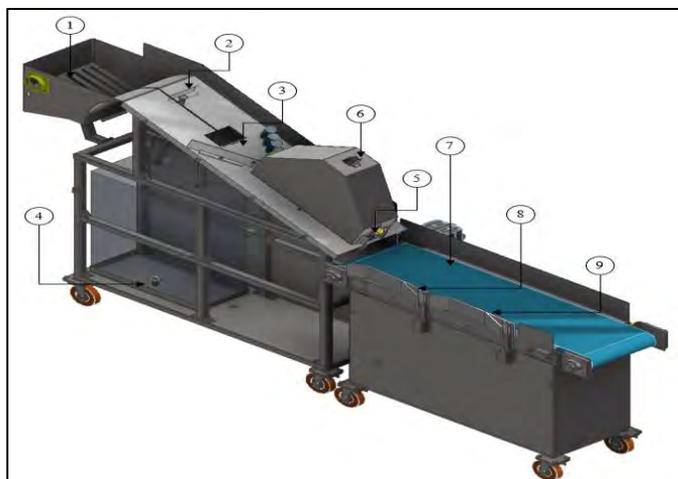


Figura 6.2 Componentes principales del sistema. Fuente: Elaboración propia.

6.2 Selección del material

Es importante que el material utilizado cumpla con los estándares de calidad para el sector de alimentos, el cual contribuya a la higiene, al cuidado del pez y a la facilidad del mantenimiento. Según la norma UNE-EN ISO 1672 señala la importancia de las condiciones que deben cumplir las máquinas de industria alimentaria. Por esta razón, se utiliza el acero inoxidable para las estructuras, planchas, ejes, perfiles y elementos de sujeción. En la Tabla 6.1 se presentan los aceros inoxidables más usados en la industria de alimentos. En este caso se elige al acero AISI 304, debido a que el precio es menor y más resistente a la corrosión.

Tabla 6.1

Tabla comparativa de aceros inoxidables

Características	Acero inoxidable AISI 316	Acero inoxidable AISI 430	Acero inoxidable AISI 304
Resistencia a la corrosión	ALTO	Alto	Muy alto
Existencia en el mercado laboral	Medio	Medio	Alto
Precio	Muy alto	Medio	Bajo

Fuente: Tomado de “ACERO INOXIDABLE EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA” por UNSA 2020

6.3 Diseño de estructuras

Primero se seleccionarán los perfiles de la estructura en la primera y segunda sección del sistema. Luego se verificará si falla mecánicamente realizando un análisis de elementos finitos con el software Autodesk Inventor 2021. Finalmente se escoge las garruchas que soporta cada estructura.

6.3.1 Selección de perfiles

En la primera sección (ver Figura 6.3a) se eligen tubos cuadrados de 40 mm x 40 mm y 2 mm de espesor, ya que este soporta, la mayor parte de los subsistemas. Por otro lado, en la sección 2 (ver Figura 6.3b) se selecciona tubos cuadrados de 25.4 mm x 25.4 mm y 1.5 mm de espesor, debido a que solo soporta la banda transportadora y los brazos de selección. Para estos dos casos se opta por los tubos cuadrados del catálogo de la empresa MET GROUP, mostrada en el Anexo F, Figura F1.

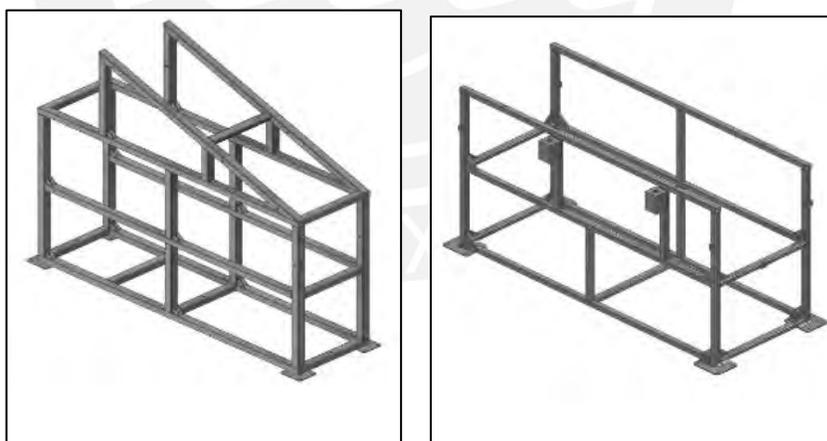


Figura 6.3 Estructuras. Fuente elaboración propia.

Por otro lado, se utilizan cartelas en cada estructura para mayor estabilidad. En la sección 1 (ver Figura 6.4a) las cartelas son 3 mm de espesor y en la sección 2 son de espesor 5 mm (ver

Figura 6.4b). Estas son adquiridas en el catálogo de planchas por la empresa INAMESA mostrada en el Anexo F, Figura F2.

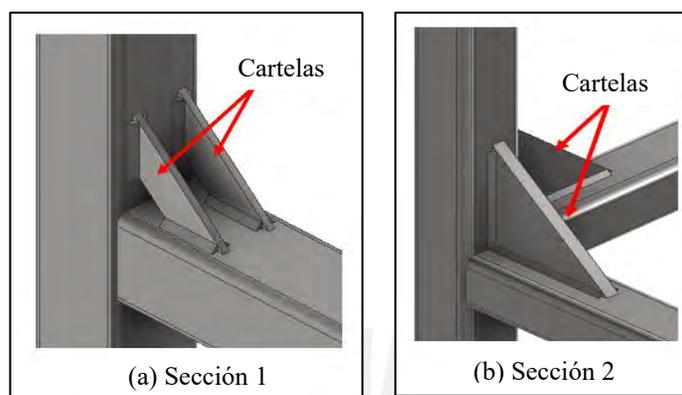


Figura 6.4 Cartelas. Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Análisis de deformaciones

Se realiza un análisis de deformaciones, considerando el peso que soporta cada estructura. Para ello se elabora dos tablas donde se menciona los pesos que influyen para realizar este análisis. Cabe recalcar que para la estructura de la sección 1 se considera los pesos de 4 trucha (250g c/u)

Tabla 6.2

Pesos asociados sobre la estructura de la sección 1

No.	Nombre	Masa (kg)	Peso (N)
1	Plancha de rampa	47.732	467.773
2	Canal V	0.686	6.723
3	Cubierta captura de imagen	5.578	54.664
4	Brazo de giro	1.143	11.211
5	Eje de brazo de giro	0.436	3.391
6	Tolva de recepción	17.498	171.48
7	Tubo de desagüe	0.573	5.615
8	Rampa de tolva de recepción	2.07	20.286
9	Peso de 4 truchas reproductores	1	9.8
10	Reservorio lleno de agua	137	1342.6

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de elementos finito se detalla en el Anexo G, Figura G1. Se observa que el desplazamiento máximo por las cargas es de 0.283 mm, el cual es un valor aceptable para el diseño propuesto.

Por otra parte, se elabora la Tabla 6.3 para el análisis de la estructura de la sección 2. Para ello se considera, los pesos más relevantes aplicados en la estructura.

Tabla 6.3

Pesos asociados sobre la estructura de la sección 2

No.	Nombre	Masa (kg)	Peso (N)
1	Plancha de faja	13.152	128.889
2	Rodillo	16.126	158.035
3	Rodillo motriz	16.431	161.024

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se obtiene la máxima deformación, el cual es 0.142 mm (ver Anexo G, Figura G2). Este valor se considera aceptable en el diseño.

6.3.3 Selección de garruchas

En la selección de garruchas se considera el peso de cada estructura mostrados en la Tabla 6.4. Los resultados de las masas, considerando las estructuras de la sección 1 y 2, son 265.502 kg y 68.566 kg respectivamente.

Tabla 6.4

Peso de la estructura de la sección 1 y 2

No.	Nombre	Masa (kg)
1	Estructura sección 1	51.786
2	Estructura sección 2	22.857

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se opta por 4 garruchas en cada estructura con freno, debido a que la máquina pueda ser usada en superficies inclinadas y lisas. En la Tabla 6.5 se muestra una tabla

comparativa de tres marcas de garruchas existentes en el mercado nacional, los cuales cuentan con características similares.

Tabla 6.5

Comparación de garruchas

Características principales	Pesada Freno PU¹⁴	Garrucha Poliuretano 6 PU Freno¹⁵	Garrucha Freno Corrugado PU¹⁶
Marca	STALEX	RUEDAS GARRUCHA	SUPO
Material	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano
Carga máxima	400 kg	500 kg	350 kg
Costo	S/. 59	S/.65	S/.54

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se escoge la garrucha de la marca SUPO con código 500.01.632 del catálogo de la empresa M&M IMCOSER SAC (ver Anexo H), ya que cuenta con menor costo. Las características principales para el diseño se ven en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6

Característica de garrucha

Características de dimensión Garruchas marca SUPO	
Diámetro exterior de rueda	150 mm
Diámetro interior de rueda	45 mm
Dimensiones	115 mm x 92 mm

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Subsistema de recepción y singularización

Este subsistema consta de una tolva de recepción, un brazo giratorio que separa cada trucha y dos compuertas que dejan el paso del movimiento al brazo giratorio. La tolva de recepción posee dimensiones de 372 mm (L) x 414 mm (A) x 373 mm (H) y un espesor de 3 mm (ver

¹⁴ Catálogo garruchas STALEX / www.stalex.com.pe

¹⁵ Catálogo garruchas RUEDAS Y GARRUCHAS / www.ruedasygarruchas.com.pe

¹⁶ Catálogo garruchas SUPO / www.garruchasperu.com

Figura 1.5). Además, cuenta con una superficie cilíndrica de 3 mm de espesor, el cual se encuentra soldada a la tolva internamente y un desagüe donde circula el agua de la bomba de peces.

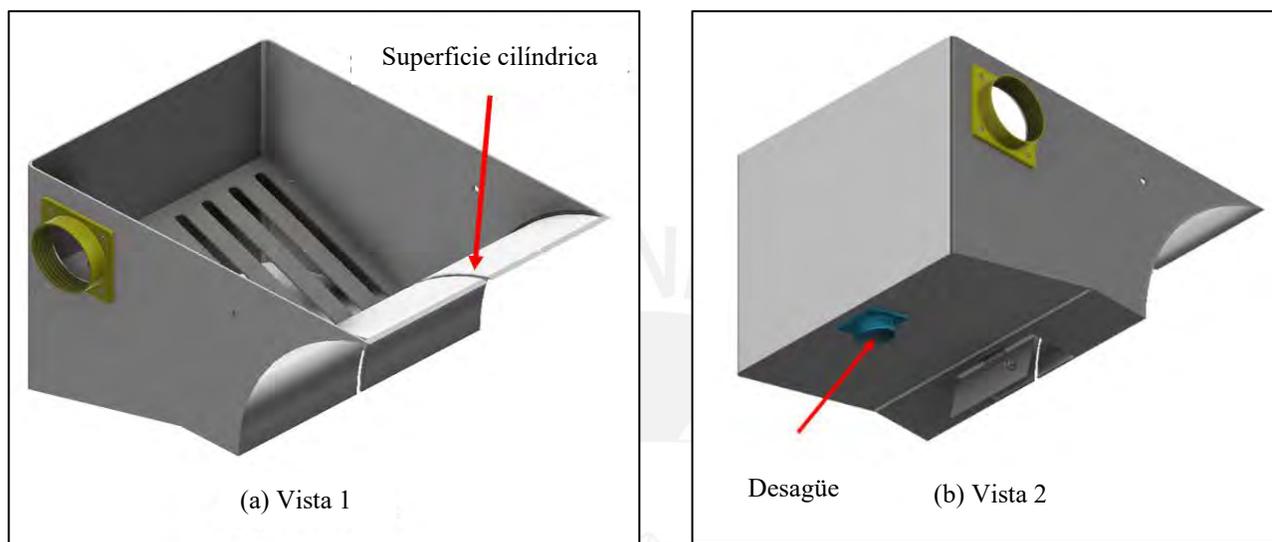


Figura 6.5 Vistas de la tolva de recepción. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el brazo giratorio (ver Figura 6.6a) tiene un radio de giro de 310 mm y 8 mm de espesor. Este cuenta con dos sujetadores de acrílico con dimensiones 150 mm (L) x 60 mm (A) y 3 mm de espesor. Cabe recalcar que las dimensiones de los sujetadores fueron tomadas del trabajo de investigación del “Sistema automático de clasificación y cuantificación de peces para la acuicultura” del estado del arte. Esto se debe a que se demostró que los sujetadores a estas dimensiones podían tomar truchas de tamaño reproductor. Finalmente, se dimensiona dos mecanismos compuestos por dos bielas y un actuador que realiza el abre y cierre de compuertas de la tolva de recepción (ver Figura 6.6b) y la rampa de captura de imagen (ver Figura 6.6c).

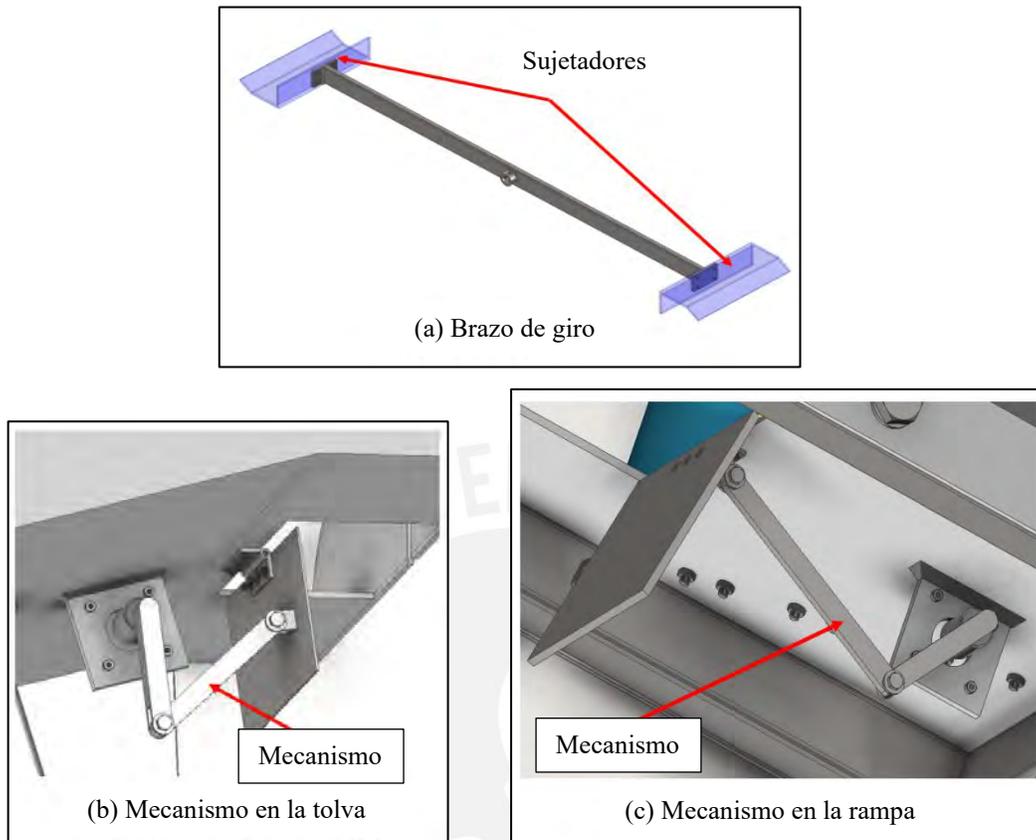


Figura 6.6 Brazo de giro y mecanismo de abre y cierre de compuertas. Fuente: Elaboración propia.

6.4.1 Análisis de soldadura y deformaciones

En este caso se hace un análisis mecánico del perfil de 40 mm x 40 mm (ver Figura 6.7) y espesor de 2 mm, que se encuentra atornillado a una plancha de acero de 3 mm de espesor.

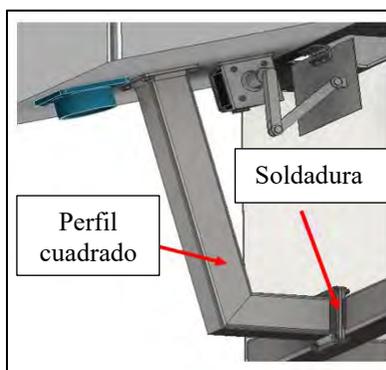


Figura 6.7 Perfil cuadrado. Fuente: Elaboración propia.

Esta plancha se encuentra soldada a la estructura de la sección 1, el cual soporta el peso de la tolva y de los peces. A continuación, se verifica la resistencia de la soldadura.

Para ello se calcula el factor de seguridad, considerando que el perfil estará sometido a esfuerzo fluctuantes. Se debe cumplir las siguientes expresiones (6.1), (6.2) y (6.3).

$$\frac{1}{FS} = \frac{\sigma'_{eq.a}}{v_2 \cdot \sigma_{Alt}} + \frac{\sigma_{eqm}}{\sigma_B} \quad (6.1)^{17}$$

$$\sigma'_{eq.a} = \sqrt{\left(\frac{n_{fa}}{v_{1f}}\right)^2 + 1.8\left(\frac{t_a^2}{v_{1c}}\right)} \quad (6.2)^{17}$$

$$\sigma_{eq.m} = \sqrt{\left(\frac{n_{fa}}{2}\right)^2 + 1.8\left(\frac{t_a^2}{2}\right)} \quad (6.3)^{17}$$

Se realiza el diagrama de cuerpo libre:

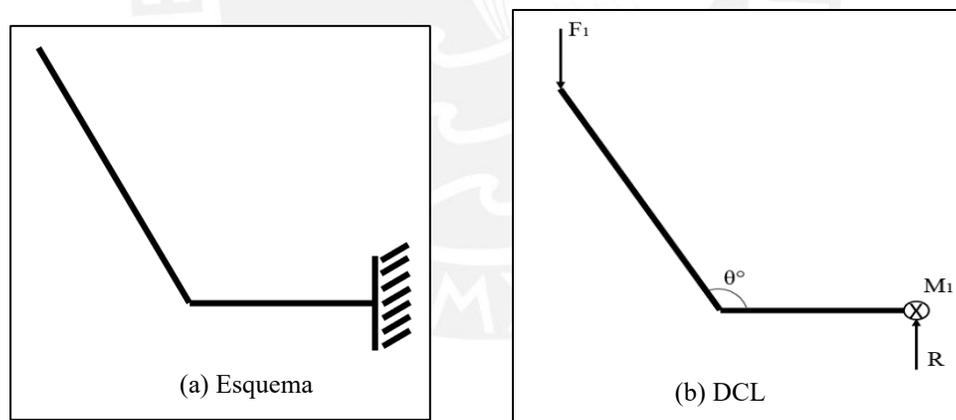


Figura 6.8 Diagrama de cuerpo libre. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6.7 se observa que el factor de seguridad es de 3.72. De esta manera, se garantiza que la unión soldada soporta dicha carga, ya que factor mínimo recomendado es 2.

¹⁷ Tomado del libro “Elementos de máquinas” capítulo 4 “Uniones Soldadas” de Paulsen K.

Tabla 6.7*Parámetros para verificar la soldadura*

Parámetros	Simbología	Valor
Peso de tolva y peces	F_1	201.567 N
Ángulo	θ°	105°
Momento	M_1	32295.54 N.mm
Reacción	R	201.567
Esfuerzo equivalente alternante	$\sigma'_{eq.a}$	95.71 N/mm
Esfuerzo equivalente medio	σ_{eqm}	33.49 N/mm
Factor de forma ¹⁸	v_{1f} / v_{1c}	0.7 / 0.35
Factor de calidad ¹⁸	v_2	1
Limite a la fatiga ¹⁸	σ_{Alt}	460 N/mm
Resistencia máxima a la tracción ¹	σ_B	570 N/mm
Factor de seguridad	FS	3.72

Fuente: Elaboración propia.

Además, se realiza una simulación por elementos finitos del perfil para determinar cuánto se deforma por las cargas (ver Figura 6.9).

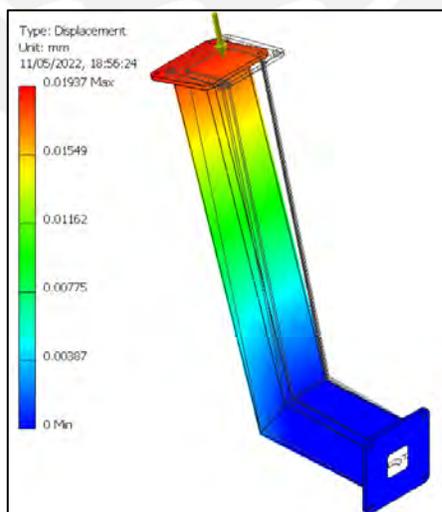


Figura 6.9 Desplazamiento de perfil cuadrado. Fuente: Elaboración propia.

¹⁸ Tomado de los Anexos 1, 2, 3 y 4 del libro “Elementos de máquinas” capítulo “Uniones Soldadas” de K. Paulsen.

Se observa que el máximo desplazamiento es 0.02 mm, lo cual implica que es un valor aceptable para el diseño.

6.4.2 Diámetro del eje de transmisión

Para el diseño del eje se consideró el material de acero St50 según la norma DIN 17 100, debido a que este material tiene propiedades para ejes y arboles de transmisión. Considerando la carga y el torque producido por el brazo giratorio se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre; así como también los diagramas de fuerza cortante, momento flector y momento torsión (ver Figura 6.10).

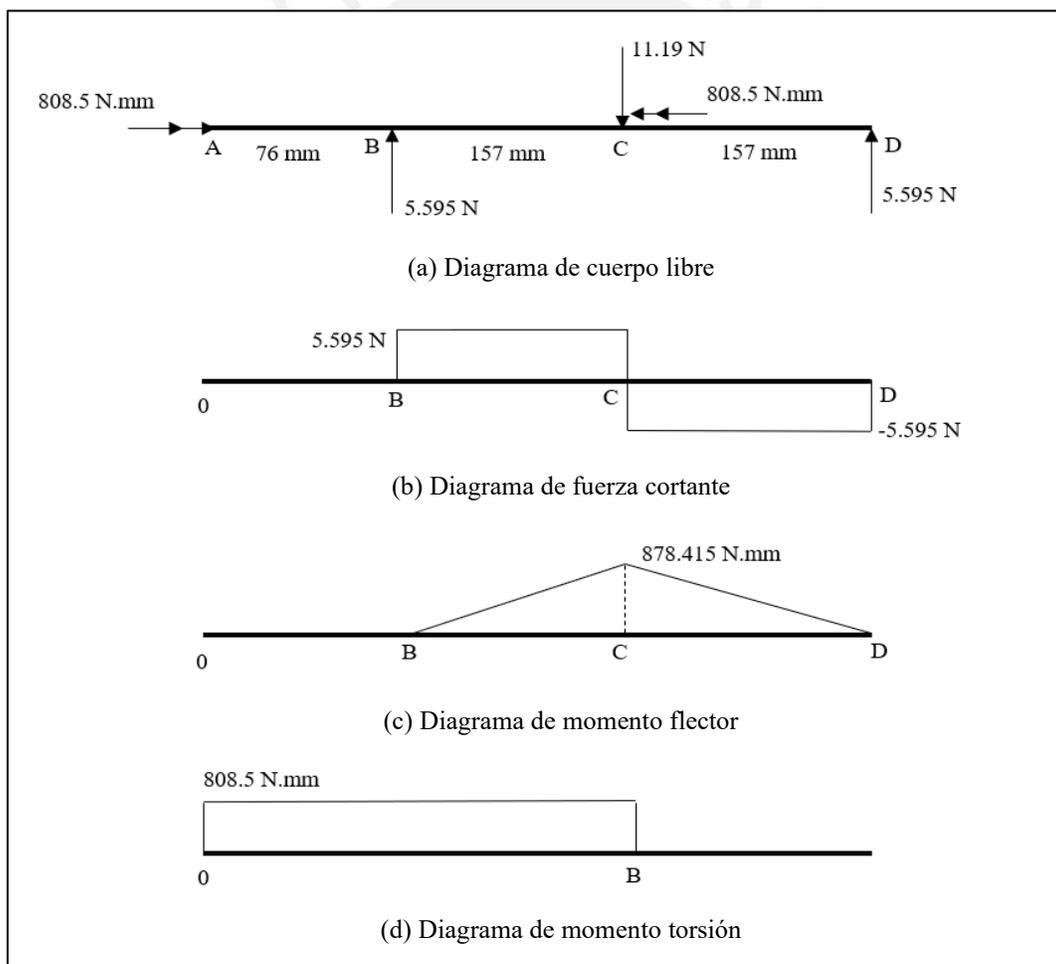


Figura 6.10 Diagramas del eje. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los diagramas se observa que el punto crítico se encuentra en la posición C. De esta manera, se procede a calcular los esfuerzos de flexión y torsión con respecto al diámetro del eje. Para ello se hace uso de las expresiones (6.4)¹⁹ y (6.5)¹⁹.

$$\sigma_f = \frac{32M_f}{\pi d^3} \quad (6.4)$$

$$\tau_t = \frac{16M_t}{\pi d^3} \quad (6.5)$$

Luego se calcula los esfuerzos alternantes de acuerdo a las expresiones (6.6)²⁰ y (6.7)¹⁷.

$$\sigma'_{fa} = \frac{\beta_f}{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp}} \sigma_f \quad (6.6)$$

$$\tau'_{ta} = \frac{\beta_f}{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp}} \tau_f \quad (6.7)$$

Finalmente se halla el diámetro del eje con las expresiones de C. Bach (6.8)¹⁷ y (6.9)¹⁷.

$$\sigma'_{eq} = \sqrt{(\sigma'_{fa})^2 + 3(\alpha_0 \tau'_{ta})^2} \leq \frac{\sigma_{fAL}}{FS_R} \quad (6.8)$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fAL}}{1.73\tau_{tPUL}} \quad (6.9)$$

En la Tabla 6.8 se muestra cada valor calculado de los parámetros descritos en las expresiones anteriores. En este caso se considera, según el material, un coeficiente de superficie $R_t^2 = 10 \mu\text{m}$, resistencia de tracción $\sigma_B^2 = 520 \text{ N/mm}^2$ y resistencia alternante $\sigma_{fAL}^2 = 250 \text{ N/mm}^2$. De esta manera,

¹⁹ Tomado del libro “Resistencia de Materiales 2” capítulo 3 “Fatiga” de R. Jorge

²⁰ Tomado del libro “Elementos de máquinas” capítulo 4 “Ejes y arboles” de K. Paulsen

se obtiene que el diámetro (d) deberá ser mayor igual 4.4 mm. Gracias a estos resultados se considera un eje transmisión de diámetro 12 mm y material St50.

Tabla 6.8

Cálculo del diámetro de eje

Parámetros	Simbología	Valor
Momento de flexión	M_f	878.415 N.mm ²
Momento de torsión	M_t	808.5 N.mm ²
Esfuerzo de flexión	σ_f	$\frac{8947.462}{d^3}$
Esfuerzo de torsión	τ_t	$\frac{4117.657}{d^3}$
Factor de concentración ²⁰	β_f	1
Coefficiente de acabado superficial ²⁰	C_s	0.91
Coefficiente por tamaño ²⁰	C_t	0.98
Coefficiente de temperatura ²⁰	C_{temp}	1
Esfuerzo de flexión alternante	σ'_{fa}	$\frac{1003.1}{d^3}$
Esfuerzo de torsión alternante	τ'_{ta}	$\frac{4617.24}{d^3}$
Factor de conversión	α_0	0.8
Esfuerzo equivalente alternante	σ'_{eq}	$\frac{11899.38}{d^3}$
Factor de seguridad recomendado	FS_R	1.8
Diámetro del eje	d	$d \geq 4.4 \text{ mm}$

Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculado el diámetro se seleccionan los rodamientos que soporta el eje. Estos rodamientos son seleccionados del catálogo de soportes para rodamiento de bolas TIMKEN de la serie U. De esta manera, se escoge el soporte UELF201 y el rodamiento UEL201 (ver Anexo I, Figura I1).

6.4.3 Selección del motor de eje

En capítulo 5 se mencionó que el brazo giratorio a 30 rpm y 170 mm de radio no dañaría al pez. De acuerdo con ello, se calcula la nueva velocidad del brazo giratorio con respecto al nuevo radio de giro. Se halla la velocidad tangencial (expresión 6.10) del brazo de giro, ya que es la velocidad con la que el pez llegará a la rampa. De acuerdo con los cálculos de la Tabla 6.9, se considera la velocidad del motor en 16 rpm. De esta manera, la máquina clasificará 1920 truchas por hora como máximo, cumpliendo la capacidad de selección de este proyecto.

$$v_t = \omega r \quad (6.10)$$

Tabla 6.9

Cálculo de la nueva velocidad de giro del motor

Parámetros	Simbología	Valor
Radio de giro experimental	r_{exp}	170 mm
Velocidad de giro experimental	ω_{exp}	30 rpm
Nuevo radio de giro	r_{nuevo}	310 mm
Nueva velocidad de giro	ω_{nueva}	16.5 rpm

Fuente: Elaboración propia.

Ahora se calcula el torque requerido del motor según las siguientes ecuaciones (6.11), (6.12) y (6.13). Para calcular la inercia del brazo giratorio y del eje, se utilizó el programa Autodesk Inventor 2021. El torque requerido para que el brazo giratorio tome un pez es 0.86 N.m (ver Tabla 6.9). Cabe mencionar que no se consideró la inercia del eje, debido a que el valor es muy pequeño con respecto a la inercia del brazo giratorio y la carga.

$$J_T = J_b + J_c \quad (6.11)$$

$$\alpha_b = \frac{\omega_{nueva}}{\Delta t} \quad (6.12)$$

$$\tau_{req} = \alpha_b \cdot J_t \cdot FS \quad (6.13)$$

Tabla 6.10*Cálculo de torque requerido*

Parámetros	Simbología	Valor
Inercia del brazo giratorio	J_b	0.048 kg.m ²
Inercia de la carga	J_c	0.029 kg.m ²
Inercia total	J_T	0.077 kg.m ²
Aceleración angular de brazo giratorio	α_b	1.676 rad/s ²
Factor de seguridad	FS	2
Torque requerido	τ_{req}	0.86 N.m

Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculado el torque requerido se realiza una tabla (ver Tabla 6.11) con 3 motores Stepper con características similares que cumple con el requerimiento del mismo. Se selecciona un motor a paso modelo 23E1KIP65-12, ya que cuenta con un alto grado de IP y menor amperaje.

Tabla 6.11*Especificaciones técnicas del motor Stepper*

Marca / Modelo	STEPPERONLINE / 23E1KIP65-12 ²¹	MOONS / ML23HS8P4150- 02 ²²	BECKHOFF / AM8123- WNYZ ²³
Voltaje	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Torque nominal (N.m)	1.2	1.25	1.2
Grado de protección (IP)	65	40	65
Corriente nominal (A)	2.8	1.5	5

Fuente: Elaboración propia.

²¹ Catálogo de servomotores Mini Motors SPA (ver Anexo H)

²² Catálogo de servomotores MOONS / www.moonsindustries.com

²³ Catálogo de servomotores BECKHOFF / www.beckhoff.com

Debido a que se requiere conocer la posición angular del brazo giratorio, se acoplará un encoder incremental en el motor a paso (ver Anexo I, Figura I2), de modo que, se pueda sincronizar las posiciones tanto del brazo giratorio, como el mecanismo de compuertas.

Finalmente, el servomotor se ensamblará a una estructura (ver Figura 6.11) y se acoplará al eje mediante un acople flexible de 12 a 8 mm. (ver Anexo I, Figura I3).

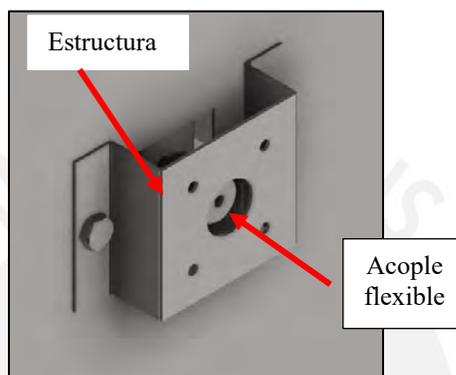


Figura 6.11 Modelo CAD de estructura y acople de servomotor. Fuente: Elaboración propia.

6.4.4 Selección del motor de compuertas

Los mecanismos están conformados por dos bielas de acero (ver Figura 6.7b y 6.7c), los cuales mediante un motor a paso realizan el giro de apertura y cierre de compuertas. Para la selección de motor se escoge el momento crítico del mecanismo, cuyo momento será cuando el pez se encuentre en la rampa inclinada y encima de la compuerta. Por ello, se realiza un análisis estático en ese instante (ver Figura 6.12 y 6.13).

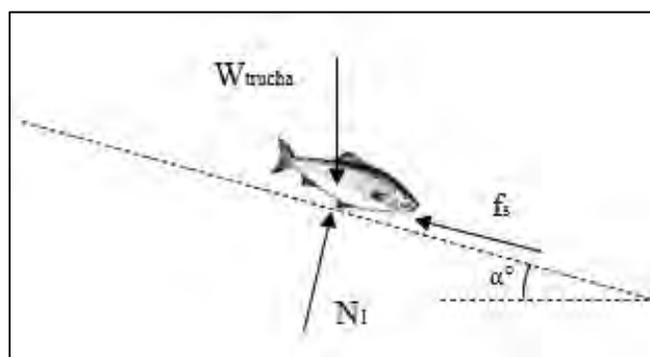


Figura 6.12 Diagrama de cuerpo libre de la trucha. Fuente: Elaboración propia.

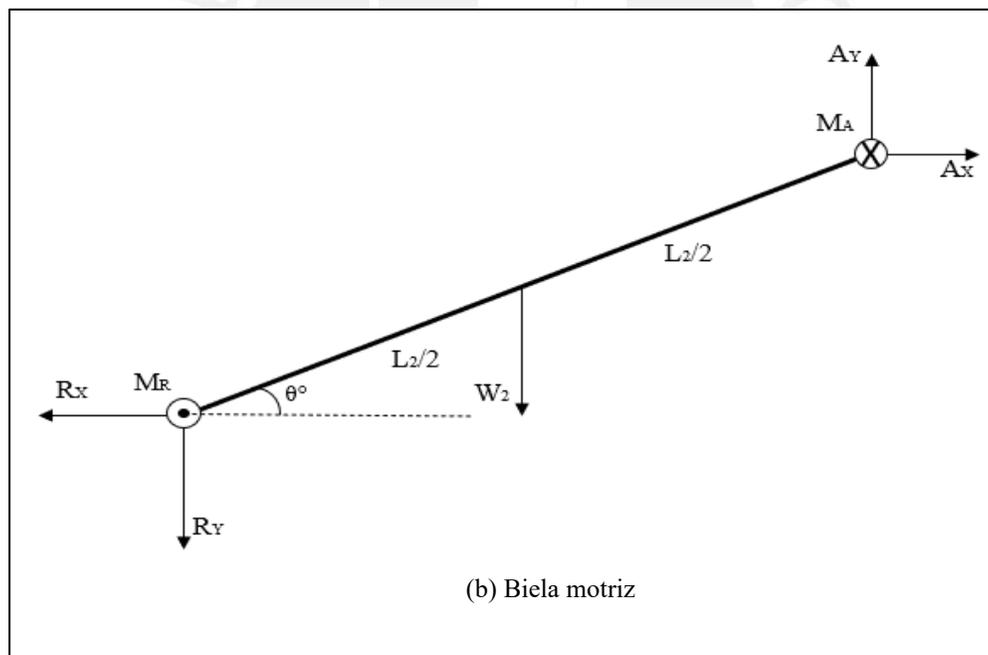
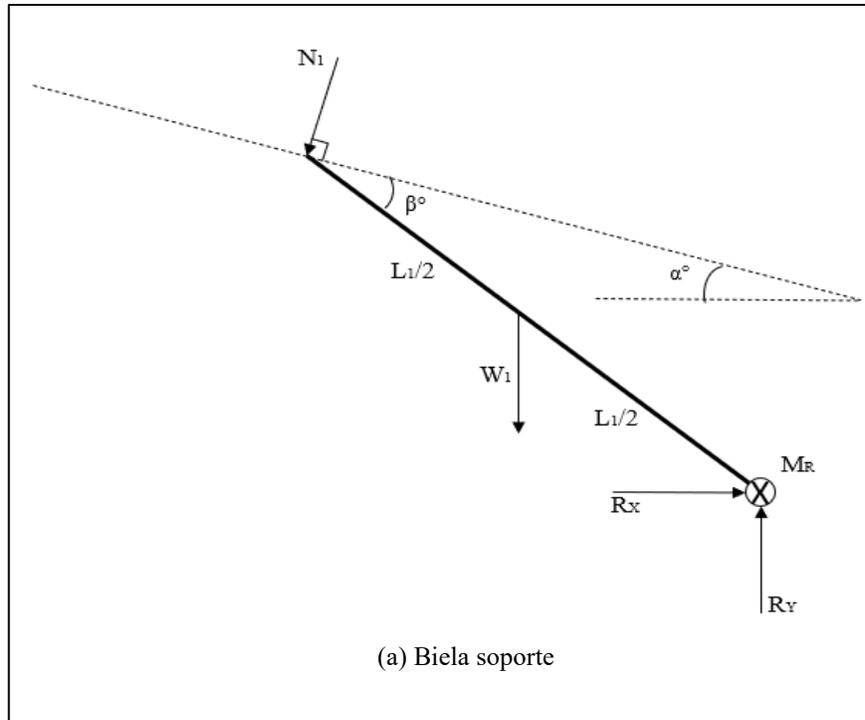


Figura 6.13 Diagramas de cuerpo libre de mecanismo. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los diagramas de cuerpo libre se calcula el momento requerido con las siguientes expresiones.

$$R_x - N_1 \text{sen}(\alpha) = 0 \quad (6.14)$$

$$R_y - W_1 - N_1 \cos(\alpha) = 0 \quad (6.15)$$

$$M_R - N_1 \cos(\alpha) \cos(\alpha + \beta) - N_1 \text{sen}(\alpha) \cos(\alpha + \beta) - W_1 \cos(\alpha + \beta) = 0 \quad (6.16)$$

$$A_y - W_2 - R_y = 0 \quad (6.17)$$

$$A_x - R_x = 0 \quad (6.18)$$

$$M_A + FS(R_x \text{sen}(\theta) - R_y \cos(\theta) - W_2 \cos(\theta) - M_R) = 0 \quad (6.19)$$

El momento requerido para que la compuerta soporte un pez es 0.82 N.m (ver Tabla 6.12).

Tabla 6.12

Cálculo del momento requerido

Parámetros	Simbología	Valor
Peso de trucha	W_{trucha}	2.45 N
Fuerza normal	N_1	2.22 N
Reacción en R-x	R_x	0.938 N
Reacción en R-y	R_y	2 N
Peso de biela	W_1	0.49 N
Ángulo de rampa	α	25°
Ángulo de biela	β	19.58°
Momento en R	M_R	273.35 N.mm
Peso de biela motriz	W_2	0.47 N
Reacción en A-x	A_x	0.938 N
Reacción en A-y	A_y	2.96 N
Ángulo de biela motriz	θ	19.44°
Factor de seguridad	FS	2
Momento requerido	M_A	0.82 N.m

Fuente: Elaboración propia.

El torque requerido para movilizar las compuertas es de 0.82 N.m. Como el torque es casi similar al torque requerido del brazo giratorio, se optará por el motor a paso 23E1KIP65-12. Además, se selecciona un acople flexible de acero sinterizado de 8 mm de diámetro (ver Anexo I, Figura I4), el cual unirá al motor Stepper y a la biela motriz.

6.5 Subsistema de aspersión

Este subsistema está conformado por un reservorio de agua de material acrílico, el cual tiene dimensiones internas de 620 mm (L) x 250 mm (A) x 780 mm (H) y 15 mm de espesor. Además, cuenta con dos sensores de presencia de tipo capacitivo, los cuales indican al usuario el nivel de agua (máximo y mínimo) en el reservorio (ver Figura 6.14^a). Asimismo, se dispone dentro del reservorio una bomba de agua (ver Figura 6.14^a) con la finalidad de trasladar el agua hacia la rampa de captura de imagen. Por último, cuenta con un desagüe (6.14b) a fin de llevar el agua hacia un criadero cercano. A continuación, se seleccionarán los componentes de este subsistema.

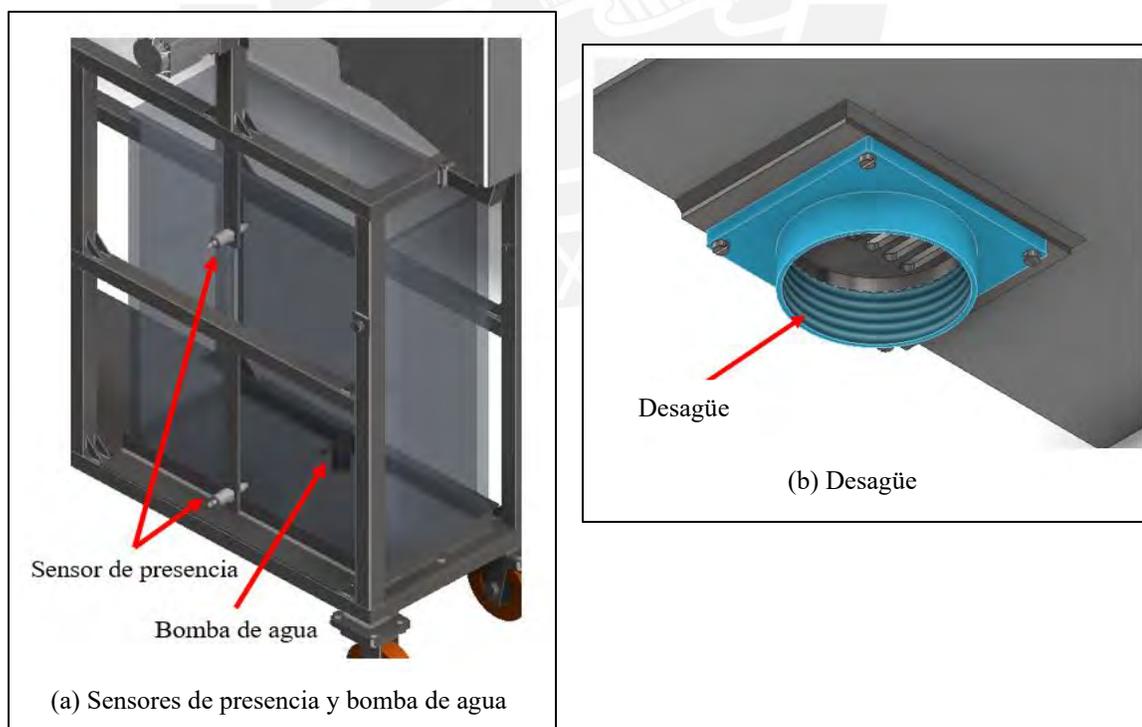


Figura 6.14 Subsistema de aspersión. Fuente: Elaboración propia.

6.5.1 Selección de sensores de presencia

Se requiere dos sensores capacitivos que cumpla con los requerimientos de alcance y alto grado de protección (IP). De acuerdo con el modelamiento del subsistema, se necesita por lo menos un rango de detección de 20 mm. Por ello, en la Tabla 6.13 se muestran tres sensores capacitivos en Perú de la marca BALLUF (Alemania) y CARLO GAVAZZI (Italia) y BERNSTEIN (EE. UU.) que cumplan con los requisitos anteriormente mencionados.

Dado que ambos sensores cumplen con los requerimientos, se selecciona el sensor capacitivo CA30CAN25PAM1, ya que tiene menor costo. En el Anexo J se puede observar las características de este sensor.

Tabla 6.13

Tabla comparativa de sensores capacitivos

Marca / Modelo	BALLUF / BCS M30BBE2-PSC25H- S04K²⁴	CARLO GAVAZZI / CA30CAN25PAM1²⁵	BERNSTEIN / KCN-R34PS²⁶
Tipo	PNP	NPN	NPN/PNP
Rango de detección (mm)	25	25	30
Voltaje máximo (V)	0 – 30	0 – 30	0-60
Corriente (A)	0.1	0.2	0.4
Grado de protección (IP)	67	67	65
Rango de precio (S/.)	332	271	315

Fuente: Elaboración propia.

²⁴ Catálogo BALLUF sensor capacitivo / www.balluff.com

²⁵ Catálogo CARLO GAVAZZI sensor capacitivo (Anexo J, Figura J1)

²⁶ Catalogo BERNSTEIN sensor capacitivo / www.bernstein.eu

6.5.2 Selección de la bomba de agua

Para elegir la bomba de agua, se tiene que tomar en cuenta dos factores importantes. Estos dos factores son: la capacidad de la bomba (L/min) y la altura máxima con la que pueda llegar la presión del agua. A continuación, se muestra en la Tabla 6.14 las características de 3 bombas de agua con características similares.

Tabla 6.14

Características de la bomba de agua

Características principales de la bomba	TOPSFLO TL-B09²⁷	GENERIC WATER PUMP²⁸	ZLPUMP ZL50-29²⁹
Capacidad (L/min)	6	8	7
Voltaje (V)	12	12	12
Corriente (A)	0.2	0.2	0.2
Altura máxima (m)	1.2	5	3
Costo (S/.)	51	98	73

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta las dimensiones del reservorio de agua y la altura a la que llegará, se calcula que el usuario llenará el reservorio de agua cada 20 minutos. Además, según el modelamiento de la máquina, la distancia entre la base del reservorio y la rampa inclinada es de 1.1 m. Por ello, se selecciona la bomba de agua TL-B09.

6.5.3 Selección de adaptadores y mangueras

La bomba de agua tiene un diámetro externo de 10 mm. De esta manera, se selecciona un adaptador de tipo rosca macho para manguera (ver Anexo J, Figura J3), el cual se muestra el CAD

²⁷ Catálogo de bomba de agua TOPSFLO TL-B09 (ver Anexo J, Figura J2)

²⁸ Bomba de agua sumergible PERUINO WATER PUMP

²⁹ Catálogo de DONGGUAN ZHONGLONG PUMP TECHNOLOGY / www.zldcpump.com

en la Figura 6.15^a. Además, el adaptador de desagüe tiene una rosca de 90 mm interno, el cual este diseñado en impresión 3D y de material PLA (ver Figura 6.15b).

Por otro lado, la manguera que conecta la bomba de pez y al adaptador es de 10 mm de diámetro y de material PVC. También, la manguera que conecta el adaptador de desagüe al criadero tiene 90 mm de diámetro externo roscado. Estos productos serán adquiridos por la empresa peruana REINSA PERU SAC (ver Anexo J, Figura J4).

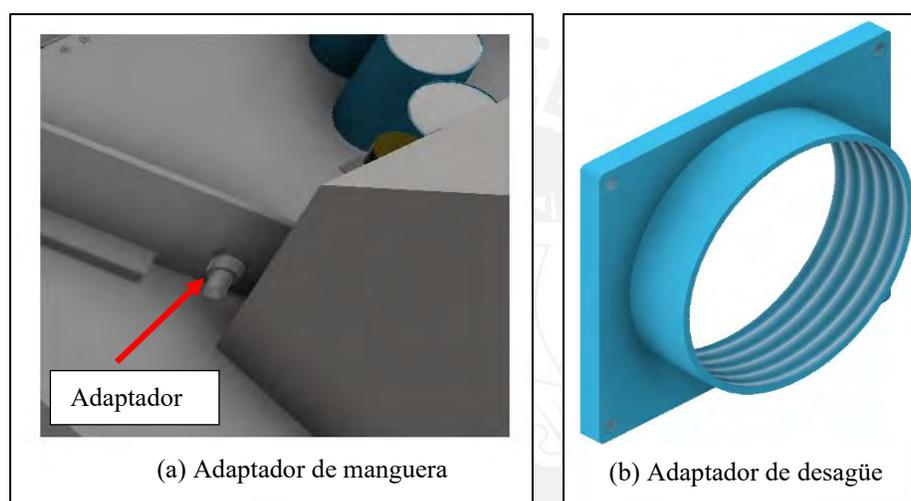


Figura 6.15 Adaptadores de manguera. Fuente: Elaboración propia.

6.6 Subsistema de captura de imagen

En este subcapítulo se detalla las dimensiones de la rampa inclinada y el dimensionamiento de los rodillos mencionados en el capítulo 5. Luego se selecciona la cámara y se dimensiona la cubierta de captura de imagen. Finalmente, se seleccionan los sensores de presencia.

6.6.1 Rampa inclinada y rodillos

La rampa es una chapa metálica de acero inoxidable con dimensiones 1450 mm (L) x 420 mm (A) y 4 mm de espesor. Esta chapa soporta el peso de la cubierta de captura de imagen, el canal en forma de V, rodillos y los peces que se deslizan sobre ella. Se utiliza corte laser para realizar los

agujeros roscados y rejillas con la finalidad de ensamblar estas piezas. En la Figura 6.16 se muestra el CAD de esta chapa metálica.

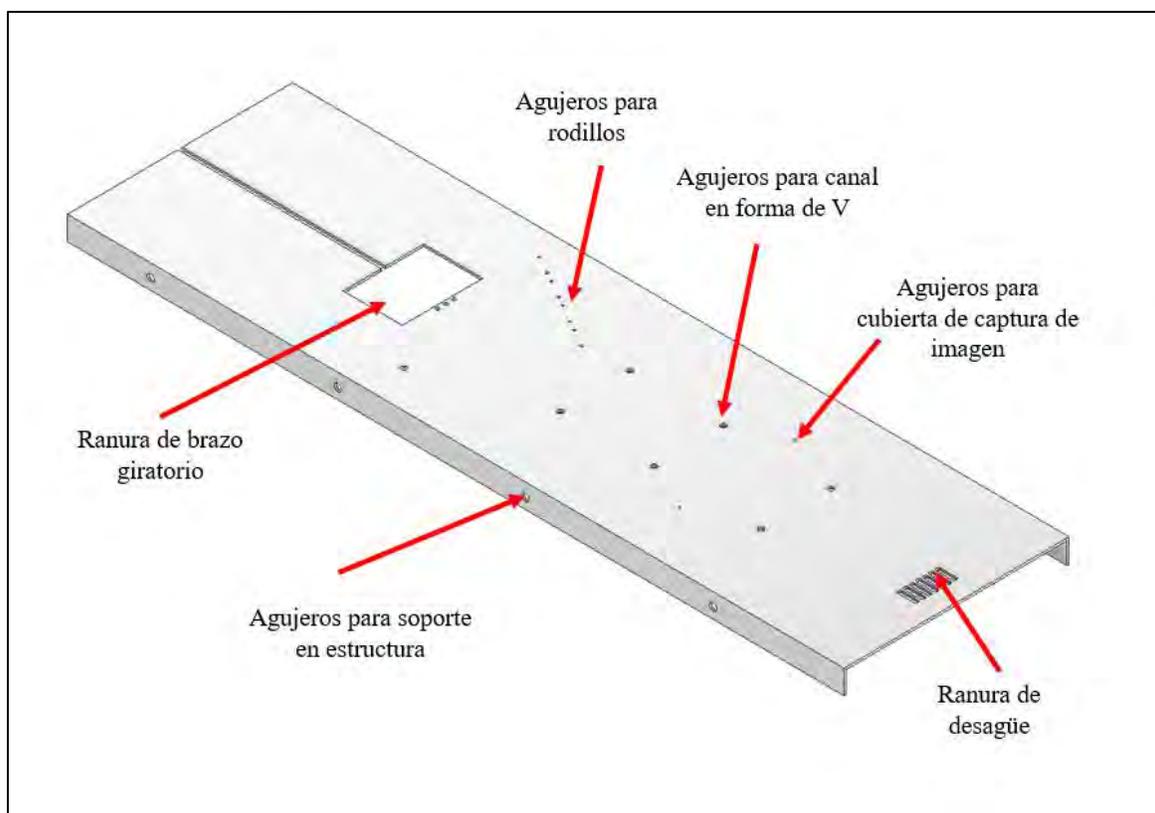


Figura 6.16 Rampa de captura de imagen. Fuente: Elaboración propia.

Los rodillos están fabricados de aluminio 6061, debido a que cuenta con alta resistencia a la corrosión (ver Figura 6.17).

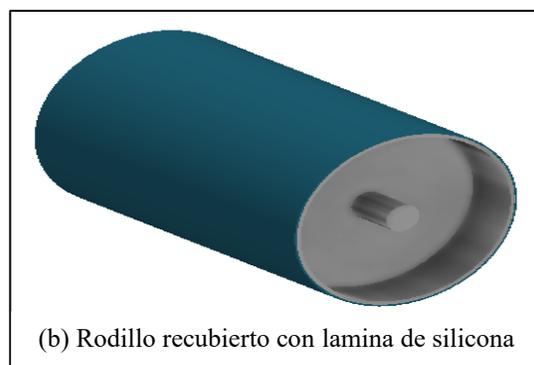
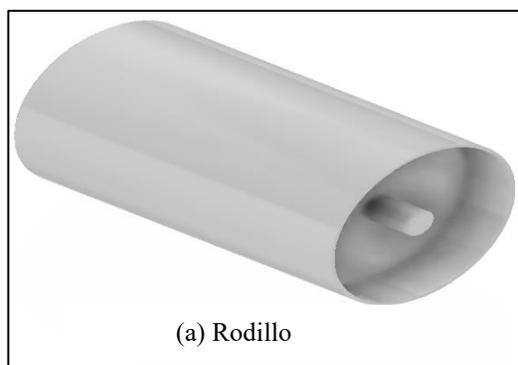


Figura 6.17 Modelo CAD del rodillo. Fuente: Elaboración propia.

Además, se recubre al rodillo con una lámina de silicona para que no dañe al pez (ver Figura 6.17b). De esta manera, se disponen 4 rodillos el cual permitirá mejor deslizamiento del pez por la rampa evitando cuellos de botellas. Cada rodillo tiene un eje de 8 mm de diámetro y se acoplará a un rodamiento KFL08³⁰.

6.6.2 Selección de cámara

En la elección de la cámara se tiene que tomar 2 factores importantes: el grado de protección (IP) y el ángulo horizontal máximo de enfoque. De esta manera, se muestran en la Tabla 6.15 tres posibles opciones de cámaras utilizados en la industria de visión artificial. Se elige la cámara de marca BAUMER y modelo VCXG-15C.I, ya que es muy usado en la industria alimentaria y cumple con los requerimientos de protección. Además, se elige un lente modelo ZVL-E3146B-R1, el cual tiene un ángulo máximo horizontal de 60.5° (ver Tabla 6.16).

Tabla 6.15

Características de la cámara seleccionada

Características principales de la cámara	MICROHAWK MV-40³¹	BAUMER VCXG-15C.I³²	DATALOGIC MX-151³³
Voltaje (V)	30	24	30
Comunicación	Ethernet	Ethernet	Ethernet
FPS	42	79	75
Grado de protección (IP)	65	67	65
Resolución (px)	1280 x 960	1440 x 1080	1280 x 1024
Modo de captura	Global	Global	Global
Sensor	CMOS	CMOS	CMOS

Fuente: Elaboración propia.

³⁰ Tomado del catálogo online de la empresa NAYLAMP MECHATRONICS (Anexo K, Figura K1)

³¹ Hoja de datos MICROHAWK / www.automation.omron.com

³² Hoja de datos de cámara BAUMER VCXG-15C.I (Anexo, Figura K1 y Figura K3)

³³ Hoja de datos de cámara DATALOGIC / www.minsindustrial.com/img/cms/PDF/e100.pdf

Tabla 6.16*Características del lente seleccionado*

Características principales del lente BAUMER ZVL-E3146B-R1 ³⁴	
Angulo máximo horizontal	60.5°
Distancia focal (mm)	5.4
Resolución (MP)	10
Formato	½,3”

Fuente: Elaboración propia.**6.6.3 Cubierta de captura de imagen**

Tomando en cuenta el cuadro anterior, se diseña la cubierta de captura de imagen. En el capítulo 5 se determinó, la distancia ($L = 600$ mm) que recorrerá el pez para capturar la mayor cantidad de fotogramas por segundos (FPS). De acuerdo con este dato y el ángulo máximo horizontal ($\alpha = 60.5^\circ$) del lente, se determina la altura (N) a la que estará la cámara de la rampa con la Figura 6.18 y la ecuación (6.20).

$$N = \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{L}{2} \quad (6.20)$$

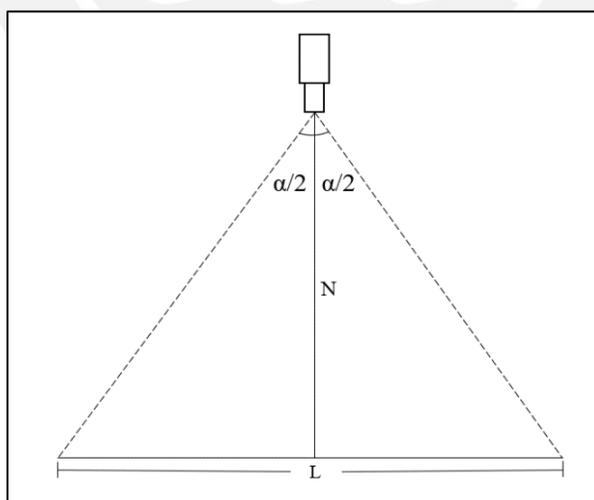


Figura 6.18 Esquema de la rampa y cámara. Fuente: Elaboración propia.

³⁴ Hoja de datos del lente BUMER ZVL-E3146B-R1 (Anexo K Figura K4)

De acuerdo con la anterior expresión, la altura (N) a la que estará la cámara a la rampa es 515 mm. En la Figura 6.19 se muestra el diseño CAD de la cubierta, la cual son tres chapas de 1 mm de espesor unidas con soldadura (ver plano). Además de ello, para mejor la visibilidad del pez en la imagen tomada, se opta por distribuir una cinta de luces led de color blanco, al interior de la cubierta de captura de imagen.

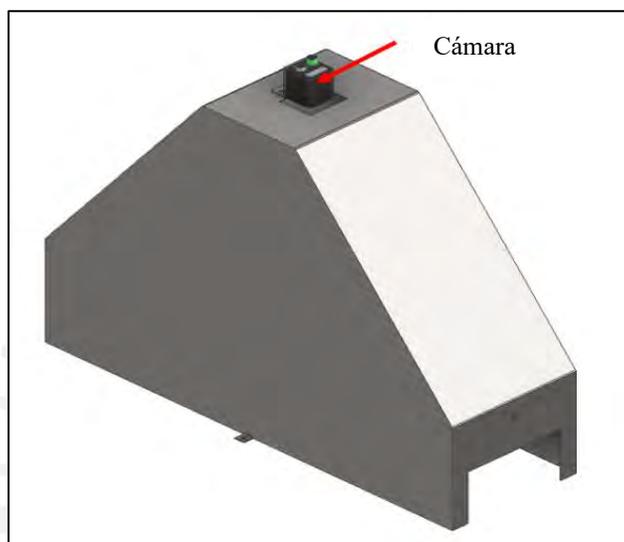


Figura 6.19 Cubierta de captura de imagen. Fuente: Elaboración propia.

6.6.4 Selección de sensores fotoeléctricos

En el concepto solución seleccionado en el anterior capítulo, se mencionó el uso de 2 sensores de presencia. Un sensor se encontrará antes de ingresar a la cubierta y otro se ubicará al finalizar la rampa inclinada. A continuación, se seleccionan estos sensores.

Se necesita dos sensores de presencia fotoeléctrico de tipo difuso con un alto grado de protección (IP) y que se adquiera en el mercado peruano. Según el modelamiento, se requieren que los sensores cuenten con un rango de detección mínimo de 103 mm. Por ello, se selecciona el sensor fotoeléctrico de la serie T18 modelo 2VNFF150-Q8, ya que este es muy utilizado en la industria alimentaria y cuenta con los requerimientos anteriores mencionados. A continuación, se elabora una tabla con las características principales de este sensor.

Tabla 6.17*Características del sensor seleccionado*

Características principales del sensor T18-2VNFF150-Q8³⁵	
Tipo	NPN
Voltaje (V)	0 – 30
Rango de detección máximo (mm)	150
Grado de protección (IP)	69
Rango de precio (S/.)	260

Fuente: Elaboración propia.

Además, se muestra el modelo CAD, donde se visualiza la ubicación de ambos sensores (ver Figura 6.20). El sensor fotoeléctrico (1) se ubica antes de ingresar a la cubierta de captura y el sensor fotoeléctrico (2) se ubica al finalizar la rampa.

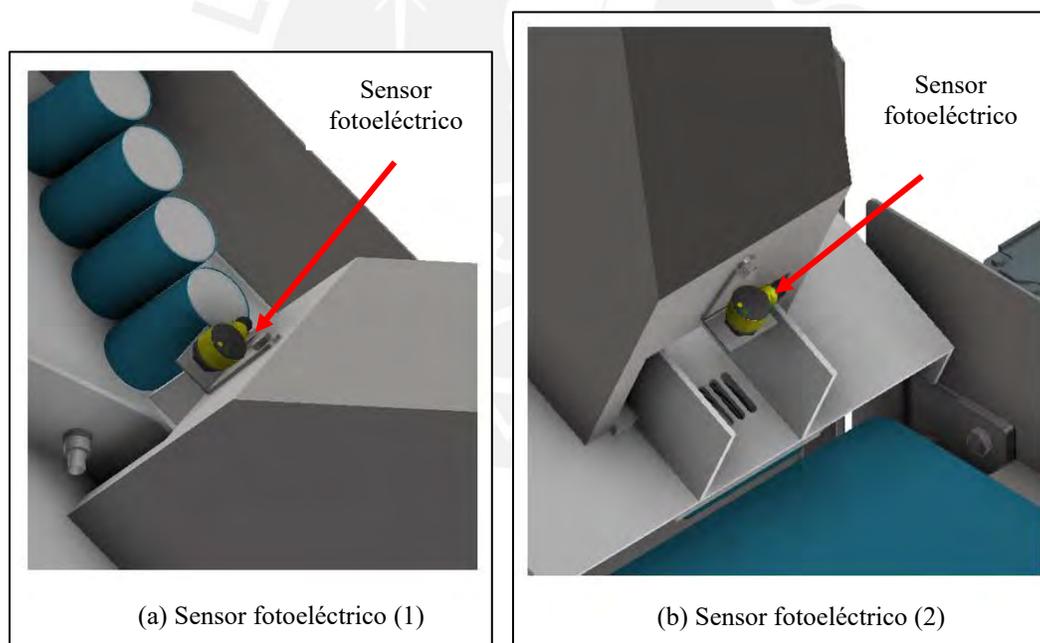


Figura 6.20 Modelo CAD de los sensores fotoeléctricos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

³⁵ Hoja de datos de sensor fotoeléctrico serie T18-2VNFF150-Q18 (ver Anexo K, Figura K5 y Figura K6)

6.7 Subsistema de clasificación

En este subcapítulo se describe el diseño de la banda transportadora y se selecciona el motorreductor que dará giro a la banda. Además, se explica el diseño de los brazos de selección, así como también se eligen los motores que los acciona. Finalmente se realizará un análisis de deformaciones en cada situación crítica del diseño.

6.7.1 Diseño de rodillos

Para este diseño se tomó como referencia al fabricante REVESOL el cual es una empresa que fabrica rodillos para bandas transportadoras (REVESOL, 2019). De acuerdo al fabricante se diseñan dos tipos de rodillos el cual cumplen distintas funciones. Uno de ellos es el rodillo de reenvío y el otro es el rodillo motriz. A continuación se describe cada uno de ellos y sus componentes.

❖ Rodillo de reenvío

Este está compuesto por un tubo circular, un eje y dos rodamientos, los cuales se encuentran ensamblados como en la Figura 6.21. El tubo redondo es de acero inoxidable mecanizado, el cual tiene un diámetro exterior 100 mm, un diámetro interior 90 mm y un asiento de 87 mm. Este asiento tiene como finalidad fijar los rodamientos para que no haya movimiento axial.



Figura 6.21 Modelo CAD del rodillo de reenvío. Fuente: Elaboración propia.

Se optan por rodamiento SKF 210³⁶, los cuales son ensamblados al tubo por presión. El eje tiene un diámetro principal de 55 mm con 50 mm en los extremos, para que se apoyen en soportes con rodamientos (ver Figura 6.22). Además, cuenta con dos ranuras con la finalidad de colocar anillos de protección.

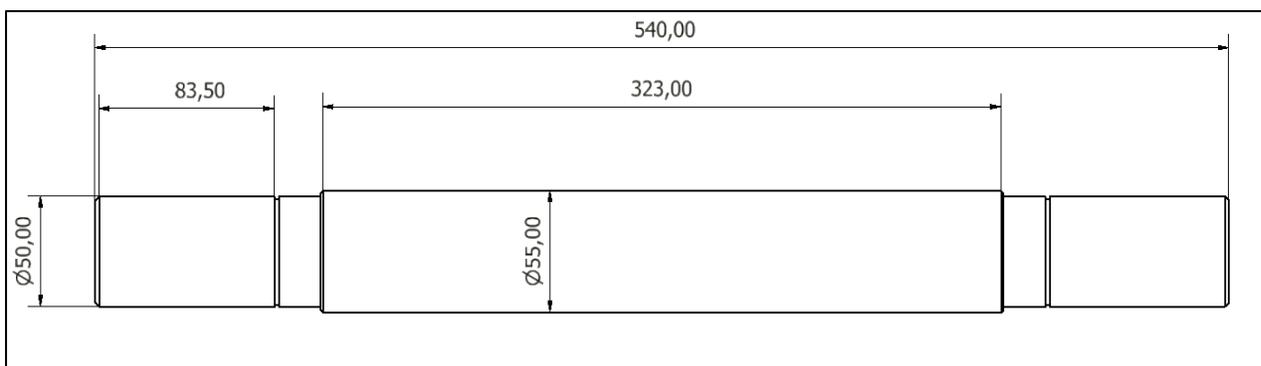


Figura 6.22 Dimensiones principales del eje de reenvío. Fuente: Elaboración propia.

❖ Rodillo motriz

El rodillo cuenta con un tubo circular, un eje y dos discos de sujeción (ver Figura 6.23). Al igual que el rodillo de reenvío, el tubo tiene un diámetro exterior de 100 mm y 90 mm de radio interior. También, cuenta con un asiento de 85 mm de diámetro, el cual tiene como finalidad fijar los discos de sujeción (ver Figura 6.24).



Figura 6.23 Rodillo motriz. Fuente: Elaboración propia.

³⁶ Ficha técnica de rodamiento SKF 210 (ver Anexo L, Figura L1)

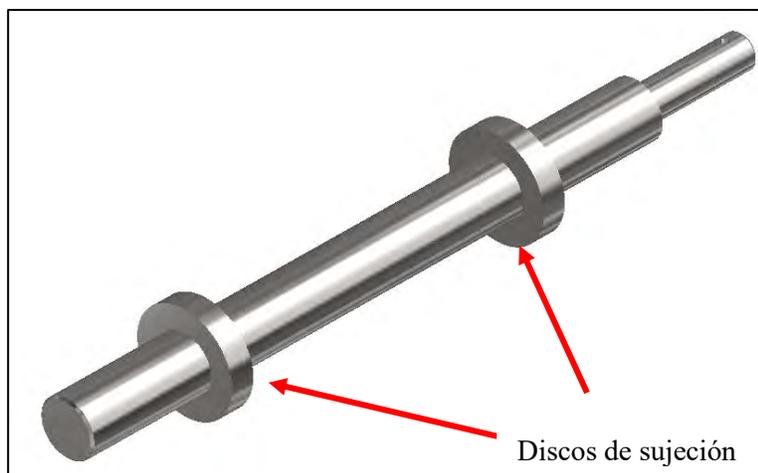


Figura 6.24 Discos de sujeción. Fuente: Elaboración propia.

Los discos de sujeción se encuentran soldados al eje y al tubo circular, de esta manera habrá un movimiento axial entre ellos. En un extremo del eje se encuentra un canal chavetero, el cual tiene como objetivo realizar el giro del eje mediante el motorreductor. A continuación, se muestra las dimensiones generales del eje (ver Figura 6.25).

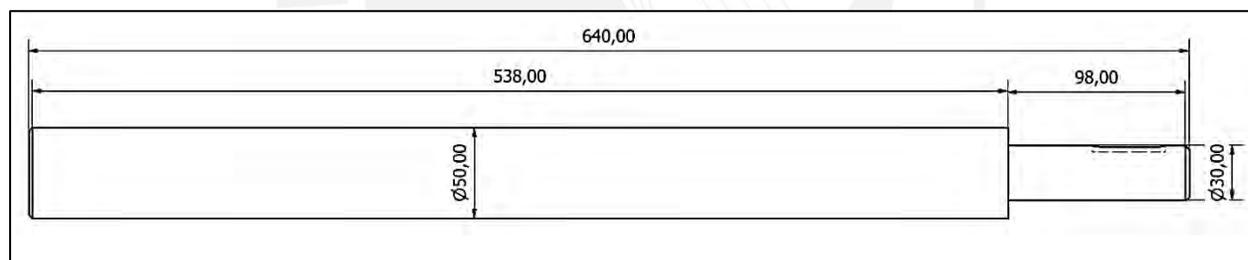


Figura 6.25 Dimensiones generales del eje motriz. Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que las barras circulares para tubos y ejes (rodillo de reenvío y motriz) son adquiridos por la empresa peruana JAHESA S.A.³⁷, los cuales se muestran los diámetros en la Tabla 6.18. Además, se selecciona chumaceras de 50 mm de diámetro de la empresa SKF modelo UCF 210³⁸.

³⁷ Catálogo de tubos redondos de la empresa JAHESA (ver Anexo, Figura L2 y Figura L3)

³⁸ Catálogo de rodamientos de la empresa SKF (ver Anexo, Figura L4 y Figura L5)

Tabla 6.18*Diámetros de barras seleccionadas*

Barra	Diámetro
Tubo redondo de rodillo de reenvío	3 ½"
Eje de rodillo de reenvío	2 ¼"
Tubo de redondo de rodillo motriz	3 ½"
Eje de rodillo motriz	2"

Fuente: Elaboración propia.

❖ Análisis de deformaciones

En el eje de reenvío se consideran los pesos del tubo, rodamientos y un pez. En el caso del eje motriz se considera los pesos de los discos de sujeción, un pez y el tubo redondo. En el anexo G (Figura G3, Figura G4) se muestran las simulaciones mostrando las deformaciones máximas del eje de reenvío y motriz, los cuales son 0.001261 mm y 0.001295 mm respectivamente. Estos valores son aceptables para el diseño.

6.7.2 Selección de motorreductor

Se requiere tener los parámetros de potencia y velocidad nominal para elegir adecuadamente un motorreductor. Para calcular la potencia requerida que accione la banda transportadora, se hará uso de la guía “Cintas de transportadoras” de la empresa HABASIT. De esta manera, se expone las siguientes expresiones que influyen en el cálculo la potencia requerida.

$$Q_v = 3600 \cdot V \cdot A \cdot k \quad (6.21)$$

$$k = 1 - 1.64 \left(\frac{\varphi \cdot \pi}{180} \right)^2 \quad (6.22)$$

$$Q_m = Q_v \cdot \rho \quad (6.23)$$

$$P_1 = \frac{C_b \cdot V + Q_m}{C_l \cdot k_f} \quad (6.24)$$

$$P_2 = P_a + P_b + P_c \quad (6.25)$$

$$P_T = P_1 + P_2 \quad (6.26)$$

$$P_{req} = \frac{P_T}{e} \quad (6.27)$$

De acuerdo a las expresiones anteriores se eligen los valores de cada parámetro con respecto a las siguientes consideraciones:

- Peso específico del pez (ρ): 0.7 t/m³
- Velocidad de avance (V): 0.3 m/s (velocidad teórica)
- Área transversal del pez (A): 0.0027 m² (valor experimental)
- Angulo de inclinación de banda (φ): 5° (valor del modelo CAD)
- Longitud de banda (l): 3.189 m (valor del modelo CAD)

En la Figura 6.26 se observa que para un determinado valor de peso específico y ancho de banda se obtiene el factor de ancho (C_b). Con la equivalencia de la ecuación (6.28) se obtiene el valor de 48.25 como factor.

$$\frac{54 - C_b}{400 - 375} = \frac{54 - 31}{400 - 300} \quad (6.28)$$

Tabla 7. Factor de ancho de la banda, C_b								
	Ancho de banda (mm)							
Peso específico γ (t/m ³)	300	400	500	650	800	1000	1200	1400
$\gamma \leq 1$	31	54	67	81	108	133	194	227
$1 < \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277	320
$\gamma > 2$	-	65	86	103	144	241	360	414

Figura 6.26 Factor de ancho de banda³⁹.

³⁹ Guía de ingeniería “Cintras transportadoras con estructura de tejido” HABASIT

En la siguiente Figura 6.27 se muestra una tabla que permite hallar el valor del factor de longitud de banda (C_l). Sin embargo, al no encontrarse el valor de la longitud de la banda, se realiza una aproximación exponencial con la ecuación (6.29). De esta manera, el factor de ancho resulta 1138.8.

$$C_l = 2564.7(l)^{-0.7} \quad (6.29)$$

Tabla 8. Factor de longitud de la banda, C_l											
Longitud de banda (m)	32	40	50	63	80	90	100	150	200	250	300
C_l	222	192	167	145	119	109	103	77	63	53	47

Figura 6.27 Factor de longitud³⁷.

Se halla el factor de servicio mediante la Figura 6.28. Para hallar este valor se considera que el trabajo que realizará la banda será a condiciones normales. Por ello, este factor da como resultado 1.

Tabla 9. Factor de servicio, K_f	
Condiciones de trabajo	K_f
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades	1,17
Normal, condiciones estándar	1
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad	0,74 - 0,87
Temperaturas extremadamente bajas	0,57

Figura 6.28 Factor de servicio²⁹.

Además, se calculan las potencias adicionales en base a la Figura 6.29. Considerando un contacto simple, la potencia de dispositivos de limpieza (P_b) es 0.03375 kW y la potencia de guía de carga (P_c) es 0.0576 kW. No se considera la potencia de trippers (P_a).

Tabla 10. Potencias adicionales de equipos auxiliares		
	Ancho de banda (m)	Potencia (kW)
Trippers, Pa	≤ 500	$0,8 \cdot v$
	≤ 1000	$1,5 \cdot v$
	> 1000	$2,3 \cdot v$
Dispositivos de limpieza, Pb	Tipo de contacto / presión	
	Contacto simple	$0,3 \cdot B \cdot v$
	Contacto elevado	$1,5 \cdot B \cdot v$
Guías de carga, Pc	Longitud Lf (m)	
	Desde punto de carga	$0,16 \cdot v \cdot Lf$

Figura 6.29 Potencias adicionales²⁹.

Teniendo los factores calculados, se elabora una tabla donde se halla la potencia requerida (ver la Tabla 6.19). La potencia requerida para accionar la faja es 0.1065 kW.

Tabla 6.19*Potencia requerida calculado*

Parámetros	Simbología	Valor
Capacidad volumétrica de banda (m ³ /h)	Q_v	2.7702
Coefficiente de reducción de la banda	k	0.9
Capacidad de transporte en masa (t/h)	Q_m	1.939
Potencia necesaria para mover la cinta en vacío y cargada (kW)	P_1	0.0144
Potencia necesaria para vencer rozamientos de elementos (kW)	P_2	0.0913
Potencia de accionamiento (kW)	P_T	0.105
Eficiencia	e	0.985
Potencia requerida (kW)	P_{req}	0.1065

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se calcula la velocidad angular (RPM), mediante la velocidad lineal de la faja y el radio del rodillo motriz con la siguiente ecuación.

$$\omega = \frac{V}{radio} = \frac{0.3}{0.05} \cong 58 \text{ RPM} \quad (6.30)$$

Por lo tanto, se selecciona un motorreductor cónico KA29DRN80M4 de la empresa SEW-EURODRIVE, el cual se muestra las características principales en la Tabla 6.20. De acuerdo a las características del motorreductor, se elige una chaveta 51A-8-7-32 según la norma DIN 6885 A⁴⁰.

Tabla 6.20

Características del motorreductor seleccionado

Características del motorreductor KA29DRN80M4⁴¹	
Potencia del motor (kW)	0.7
Velocidad de salida (RPM)	58
Par de salida (Nm)	123
Voltaje (V)	230/460
Frecuencia (Hz)	60
Corriente nominal (A)	3.1/1.56
Diámetro de eje hueco (mm)	30
Grado de protección (IP)	55

Fuente: Elaboración propia.

6.7.3 Selección de banda

Se requiere una banda transportadora de grado alimentaria que cuenta con resistencia al agua y a las grasas animales. Por esta razón, se selecciona la banda TPU de la empresa ESBELT, ya que

⁴⁰ Chavetas Norma DIN 6885 A (ver Anexo, Figura L6)

⁴¹ Hoja de datos de motorreductor SEW KA29DRN80M4 (ver Anexo L, Figura L7)

cuenta con alta resistencia a la hidrólisis y son muy usadas en la industria de alimentos. En la Tabla 6.21 se muestra las características principales de esta banda.

Tabla 6.21

Características de banda seleccionada

Características de la banda TUP NPX20 UA2MT-AM⁴²	
Color	Azul 06
Dureza (°ShA)	85
Acabado	Grabado A2
Espesor (mm)	3.15
Carga de trabajo 1% (N/mm)	12
Ancho máximo de fabricación (mm)	1250

Fuente: Elaboración propia.

6.7.4 Soporte de faja y dispositivo de tensión

El soporte de faja es una plancha de acero inoxidable (ver Figura 6.30) de 1.2 (L) x 0.45 (H) y 2 mm de espesor, el cual tiene dos dobleces y es fabricado por corte laser. Esta está unida a la estructura de la sección 2 por 4 tornillos métricos de 9 mm. Además, cuenta con 2 dispositivos de tensión soldados al soporte (ver Figura 6.30b), con la finalidad que tense la banda, realizando un desplace en paralelo al eje de la cinta mediante un esparrago de 20 mm.



⁴² Catálogo de banda ESBELT TPU (ver Anexo L, Figura L8, Figura L9)

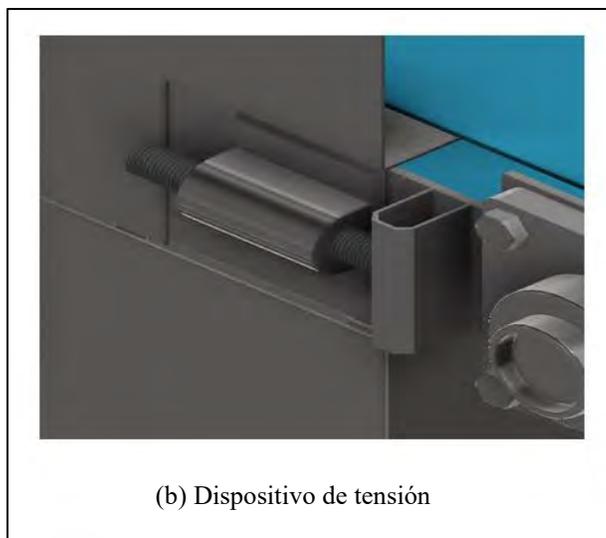


Figura 6.30 Soporte de faja y dispositivo de tensión. Fuente: Elaboración propia.

6.7.5 Diseño de brazos para la clasificación

Los brazos de selección serán impresos en 3D de material PLA (ver Figura 6.31) recubierto por una lámina de silicona para que no dañe al pez. Se realizó el diseño de tal forma, que garantice que el pez descienda hacia el reservorio de peces (ver Figura 6.32). Una vez que el sistema haya detectado el tamaño del pez, el brazo de selección se abrirá para que este ingrese al reservorio.

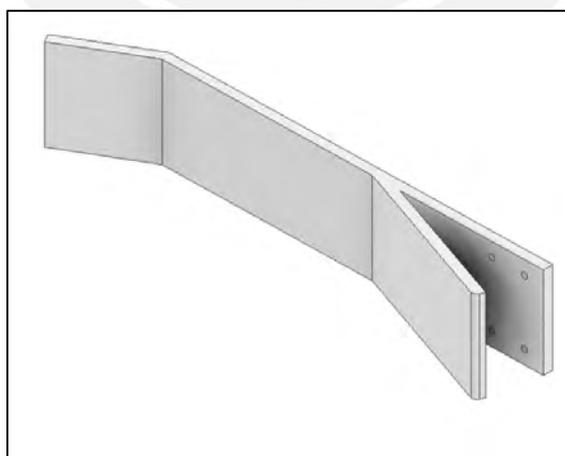


Figura 6.31 Modelo CAD del brazo de selección. Fuente: Elaboración propia.

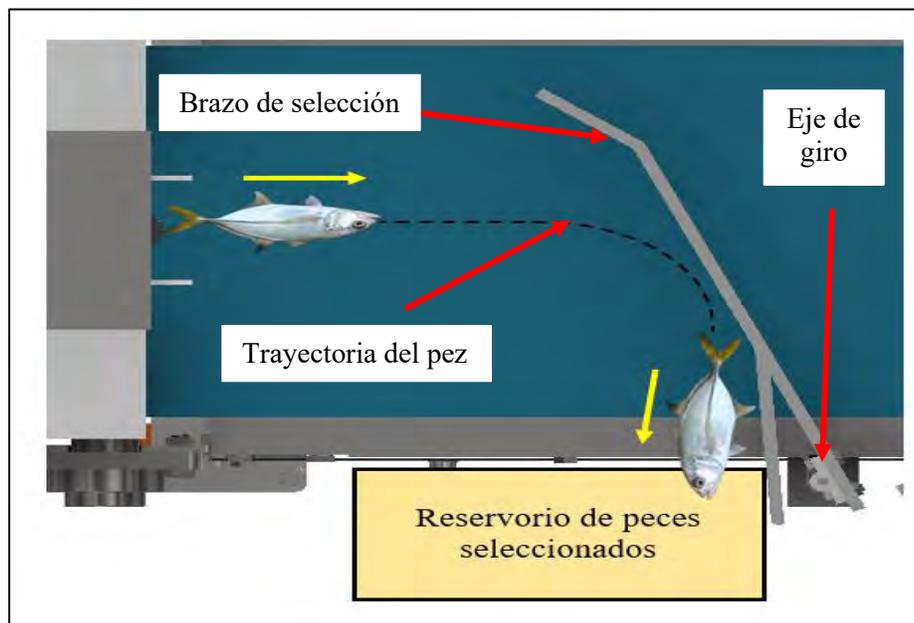


Figura 6.32 Forma de selección del pez. Fuente: Elaboración propia.

Para la transmisión de potencia entre el eje y el soporte que se ubica unida al brazo de selección (ver Figura 6.33), se optará por un ajuste zunchado. De acuerdo a la norma DIN ISO 286 se opta por una tolerancia de grado IT7 para el eje e IT6 en el caso del agujero (ver Figura 6.34), debido a que estos grados son muy utilizados para las piezas acopladas entre sí (Barriga, 2019). Asimismo, el eje cuenta con una ranura donde se ubicará un anillo de protección.

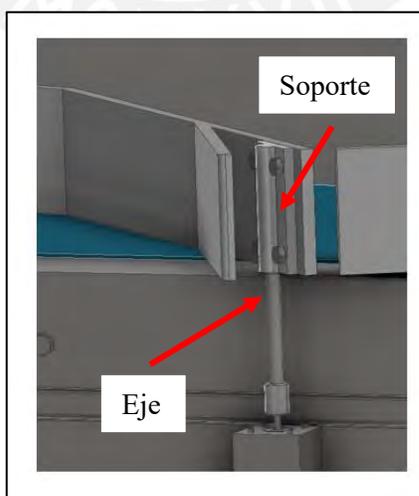


Figura 6.33 Unión entre eje y soporte. Elaboración propia.

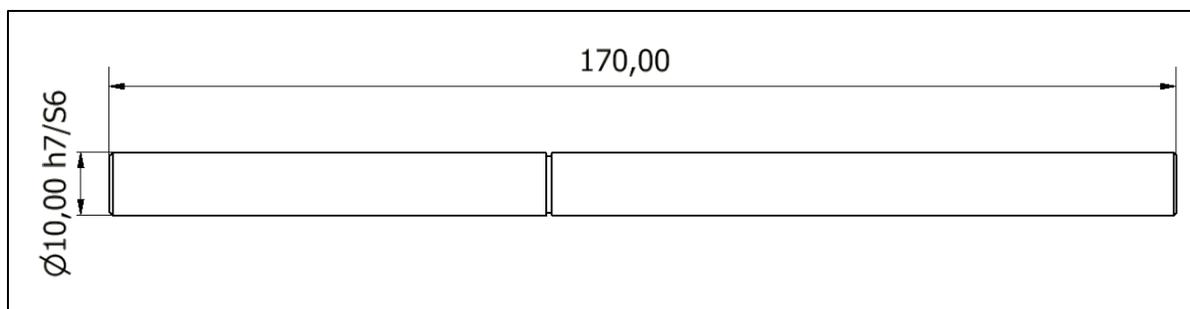


Figura 6.34 Dimensiones generales del eje. Elaboración propia.

6.7.6 Selección del motor de brazo para clasificación

En la Figura 6.35 se realiza un análisis estático considerando las ecuaciones (6.31) y (6.32) en el instante que el pez choca con el brazo giratorio.

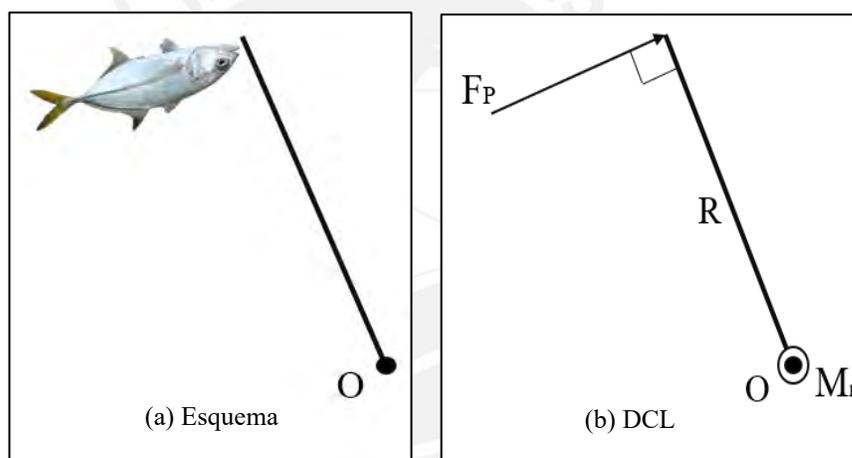


Figura 6.35 Análisis estático de brazo de selección. Fuente: Elaboración propia.

El momento generado dará como resultado 0.87 N.m (ver Tabla 6.22). Se considera que el coeficiente de rugosidad entre el pez y la cinta es 0.4.

$$F_p = \mu \cdot W_p \quad (6.31)$$

$$M_R = (F_p \cdot R)FS \quad (6.32)$$

Tabla 6.22*Cálculo de momento requerido*

Parámetro	Simbología	Valor
Peso del pez	W_p	2.45 N
Coefficiente rozamiento	μ	0.4
Fuerza de empuje	F_P	0.98 N
Radio de giro	R	0.442 m
Factor de seguridad	FS	2
Momento requerido	M_R	0.87 N.m

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se selecciona el motor a paso modelo FL57STH 2804⁴³ de la marca FULLING MOTOR, ya que cuenta con un torque detenido mayor (ver Tabla 6.23).

Tabla 6.23*Tabla comparativa de motores a paso*

Marca / Modelo	FULLING MOTOR / FL57STH 2804^a
Torque detenido (N.m)	1.2
Voltaje	24
Corriente	2.8
Grado de protección	65

Fuente: Elaboración propia.

6.8 Diseño electrónico y selección de componentes

Se describe la selección de componentes que interactúan con el usuario para el funcionamiento del sistema. Para ello, se detalla las conexiones eléctricas y electrónicas, con la finalidad que interactúen los sensores, actuadores, el procesamiento de información y la alimentación. Además, se muestra el diseño de los filtros que acondicionan a las señales que protegen y activan a los componentes electrónicos.

⁴³ Catálogo de motores a paso FULLING MOTOR (ver Anexo, Figura L10)

6.8.1 Arquitectura del hardware electrónico del sistema

La máquina se alimenta de 220 VAC a 60 Hz, el cual enciende tres fuentes conmutadas (24 VDC, 12 VDC, 5 VDC), por medio de una llave termomagnética. La alimentación principal cuenta con un botón de parada en caso de emergencia, el cual se encuentra conectada en serie. El piloto luminoso de alimentación se enciende cuando el interruptor termomagnético sea activado. La fuente de 24 VDC alimentará los pulsadores, sensores de presencia, motores a paso, pilotos luminosos y cámara. Por otro parte, la fuente de 12 VDC alimentará la iluminación led de la cubierta de captura de imagen y bomba de agua; y la fuente de 5 VDC alimentará al módulo I2C.

Todos los sensores y actuadores serán controlados por la Raspberry Pi 4B. La cámara se comunicará al controlador por medio de una interfaz ethernet, el cual este se encargará de recepcionar y procesar las imágenes. La Raspberry se alimentará a 220 VAC y cada sensor tendrá un filtro de señal que acondiciona cada voltaje de entrada a 3.3 VDC. La interacción de los componentes electrónicos se muestra en la Figura 6.36.

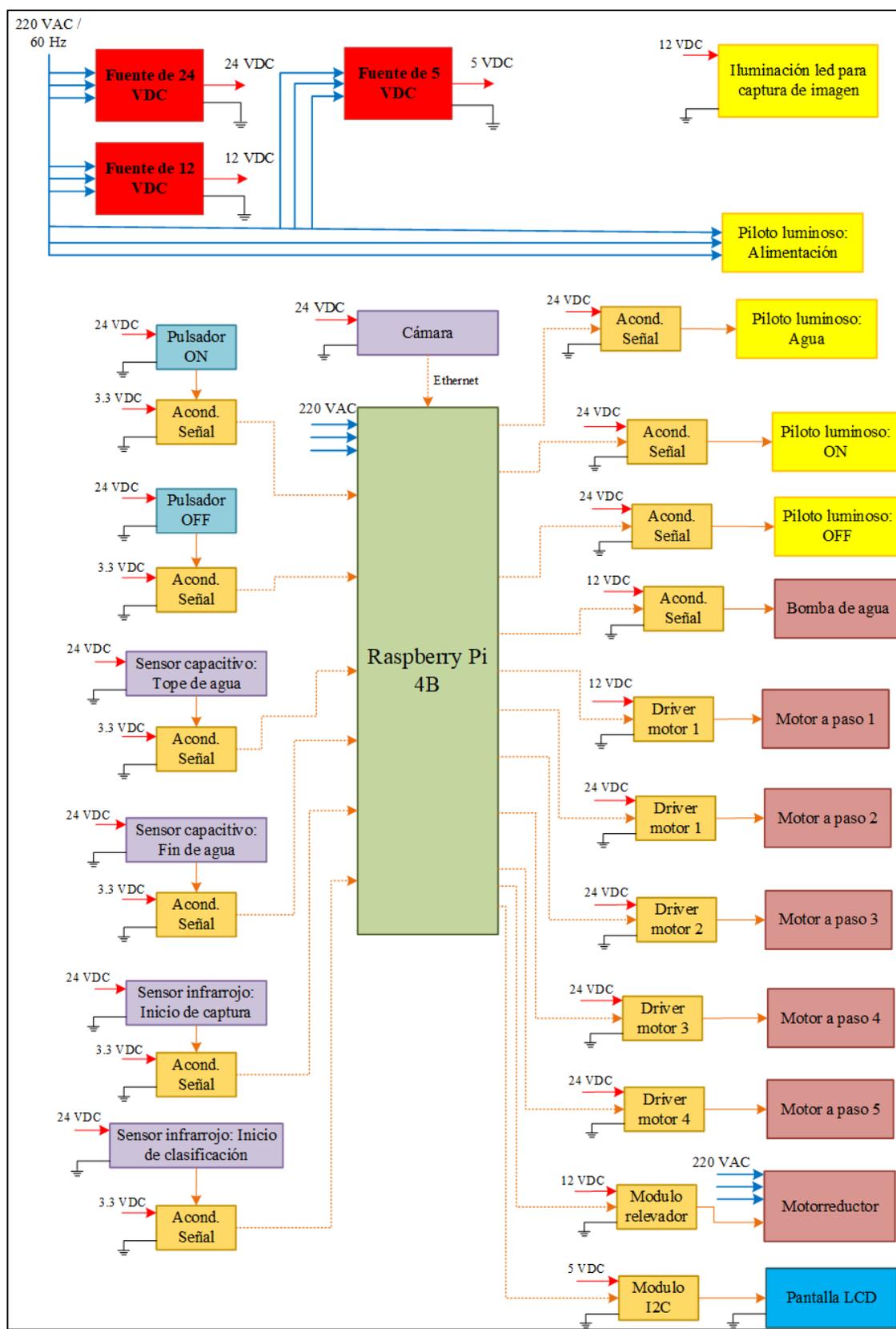


Figura 6.36 Arquitectura del hardware electrónico del sistema. Fuente: Elaboración propia.

6.8.2 Circuitos de aislamiento

La Raspberry Pi 4b contiene 40 entradas de propósito general (GPIO), las cuales soportan hasta 3.3 V y 16 mA de corriente. En este proyecto se usará sensores, actuadores y pilotos luminosos que trabajan con señales a 24 VDC y 12 VDC, las cuales dañarían a la Raspberry. Por ello, es necesario poder filtrar estas señales y así evitar daños. En la Figura 6.37 se muestra un filtro diseñado, el cual contiene un optoacoplador PC817 (ver Anexo, Figura M1), una resistencia de 2 k Ω en la entrada y una resistencia “pull down” de 10 k Ω en la salida. De esta manera, se garantiza que el voltaje que ingrese al puerto GPIO permanezca en 3.3 V. Este filtro se usará para los pulsadores ON, OFF y sensores.

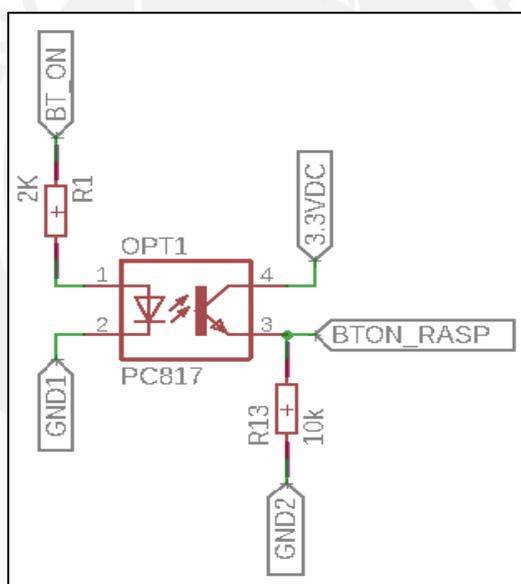


Figura 6.37 Filtro de pulsadores y sensores. Elaboración propia.

Además, en la Figura 6.38 se muestra el filtro que se usará para los pilotos luminosos y la bomba de agua. También, contiene un optoacoplador, dos resistencias (220 Ω y 4.7 k Ω) y un transistor 2N3904 (ver Anexo, Figura M2). De esta manera, se garantiza que los actuadores se alimentarán a los voltajes de 24 VDC o 12 VDC.

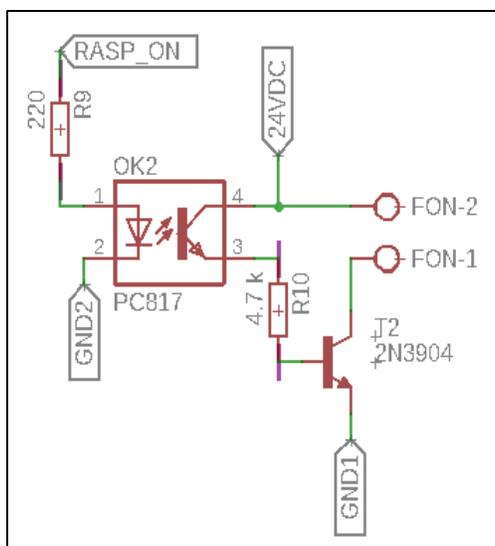


Figura 6.38 Filtro de pilotos luminosos y bomba de agua. Fuente: Elaboración propia.

6.8.3 Selección de componentes eléctricos y electrónicos

En el mercado existe varios fabricantes de componentes eléctricos de uso industrial. Para este proyecto se selecciona componentes de la marca Schneider Electric⁴⁴, debido a la buena calidad de sus equipos, mayor variedad de soluciones y el abaratamiento de costos si perder calidad (AUTOMATISMO, 2020). Estos podrán ser adquiridos en el mercado peruano por la empresa SEIN. Por consiguiente, se elabora la Tabla 6.24 con cada componente eléctrico seleccionado, modelo y características.

Tabla 6.24

Componentes eléctricos seleccionados⁴⁴

Componente	Modelo	Características
Interruptor termomagnético	A9F743400	Trifásico, 220 VAC, 40 A, 40 kA
Pulsador de emergencia	XB4BS8444	NC, Rojo
Piloto luminoso de alimentación	XA2EVM5LC	220 VAC, Amarillo
Pulsador ON	XA2EW33M1	NA, 220 VAC, Verde
Pulsador OFF	XA2EW34M1	NC, 220 VAC, Rojo

⁴⁴ Catálogo de componentes eléctricos de la marca Schneider Electric (SEIN- DISTRIBUIDOR ELECTRICO, 2022) <https://sein.com.pe/?SID=4i7lcg9gvp6jvji2jqoag6aih2>

Piloto luminoso ON	XA2EVB3LC	24 VDC, Verde
Piloto luminoso OFF	XA2EVB4LC	24 VDC, Rojo
Piloto luminoso de agua	XA2EVB6LC	24 VDC, Azul
Contactador	LC1D12M7	Trifásico, 220 VAC, 12 A

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, se elabora una tabla de cada componente electrónico seleccionado. Las especificaciones técnicas de cada Driver Stepper se muestran en el Anexo M, Figura M3 Y Figura M4.

Tabla 6.25

Componentes electrónicos seleccionados

Componente	Modelo	Características
Relevador ⁴⁵	OMRO G3MB-202P-DC5	10 A, 250 VAC, señal 3.3 V, 1 CH
I2c	PCF8574	5 VDC / 3.3 VDC
Pantalla LCD	YB12864ZB	5 VDC, 128 x 64 píxeles
Tira led	-	12 VDC, IP65, 3 metros, 12.2 W/m
Driver Stepper	CL57T	24 – 48 VDC / 0 – 8 A, bucle cerrado
Driver Stepper	TB6560	24 VDC / 3 A

Fuente: Elaboración propia.

6.8.4 Fuente de alimentación

Para calcular la corriente de cada fuente de alimentación se elabora una tabla de componentes electrónicos, donde se muestra la cantidad de corriente que consume cada uno de estos.

Tabla 6.26

Corriente de cada componente seleccionado

Componente	Cantidad	Corriente (A)	Voltaje (VDC)	Corriente total (A)
Sensor capacitivo	2	0.2	24	0.4
Sensor infrarrojo	2	0.2	24	0.4
Cámara	1	0.1	24	0.1

⁴⁵ Componentes NAYLAMP MECHATRONICS (Naylamp Mechatronics, 2021)

Motor a paso	5	2.8	24	14
Iluminación led	1	3	12	3
Piloto luminoso	3	0.018	24	0.054
Bomba de agua	1	0.2	12	0.2
Relevador	1	0.03	12	0.03
Pulsador	2	0.016	24	0.048
Pantalla LCD	1	0.422	5	0.422

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se seleccionan 3 fuentes conmutadas de acuerdo al consumo de corriente total (ver Tabla 6.25). Estas serán adquiridas por la empresa peruana NAYLAMP MECHATRONICS³⁵.

Tabla 6.27

Fuentes seleccionadas

Componente	Modelo	Cantidad	Corriente de salida (A)
Fuente 24 VDC	S-250-24	2	10
Fuente 12 VDC	S-50-12	1	4.2
Fuente 5 VDC	0510	1	1

Fuente: Elaboración propia.

6.9 Subsistema de interfaz con el usuario

En la Figura 6.39 se muestra el modelamiento del tablero de control con dimensiones generales 300 mm x 300 mm x 400 mm, donde se distribuye los componentes eléctricos y electrónicos (ver Figura 6.39a). Dentro del tablero (ver Figura 6.39b) se encuentra una tarjeta PCB que distribuirá la energía hacia los sensores y actuadores.

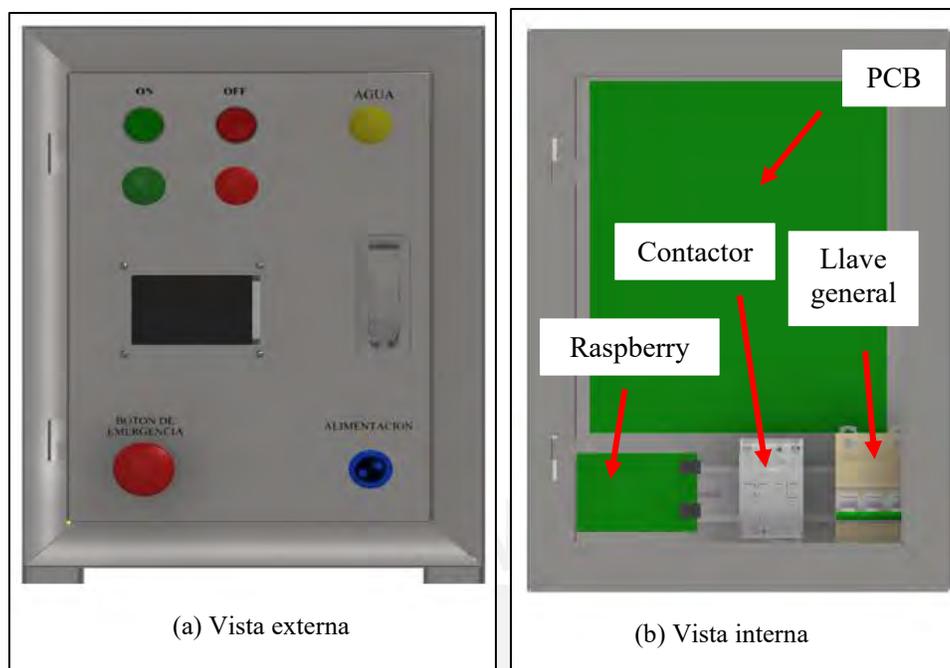


Figura 6.39 Modelo CAD del tablero de control. Fuente: Elaboración propia.

6.10 Diagrama de operaciones del sistema

En el Anexo N, Figura N1 se presenta la secuencia de operaciones que se deben realizar sobre la máquina para puesta en funcionamiento.

6.11 Diagrama de flujo del sistema

En la Figura 6.40 se muestra el diagrama de flujo del programa principal. Este detalla el algoritmo a seguir por el controlador para que se ejecute el proceso que se requiere. A continuación, se explicará la secuencia lógica del programa.

1. Al alimentarse la Raspberry Pi B se inicializarán las variables, las cuales se conforman por los sensores y actuadores de la máquina. El piloto luminoso “OFF” se mantiene encendido.
2. Al presionarse el pulsador “ON” se accionará los motores, la bomba de agua, la pantalla LCD y se encenderá el piloto luminoso “ON”. Además, el usuario procederá a ingresar las truchas en la máquina.

3. Si el sensor 1 se activa, la señal luminosa de agua se encenderá dando un aviso al usuario que el reservorio requiere de agua. A pesar de ello, el programa seguirá el proceso de captura de imagen y selección. Cuando el sensor 2 se active, la señal luminosa de agua se apagará.
4. El sensor 3 se activará cuando este haya detectado un pez. Inmediatamente después el controlador dará inicio a la captura de imágenes y al procesamiento de la información.
5. El controlador identifica el tamaño del pez y guarda ese dato en un registro. Luego cuando se haya activado el sensor 4, este mandará una señal hacia el brazo de selección del tamaño registrado.
6. La pantalla LCD registrará la cantidad de truchas que van ingresando a los depósitos. Este contará con tres variables, las cuales irán aumentando, dependiendo el tipo de trucha registrado.
7. Si el usuario presiona el botón “OFF”, el controlador desactivará el accionamiento de los motores, la bomba de agua y la pantalla LCD. En caso contrario, el controlador repetirá todo el proceso desde el punto 3.

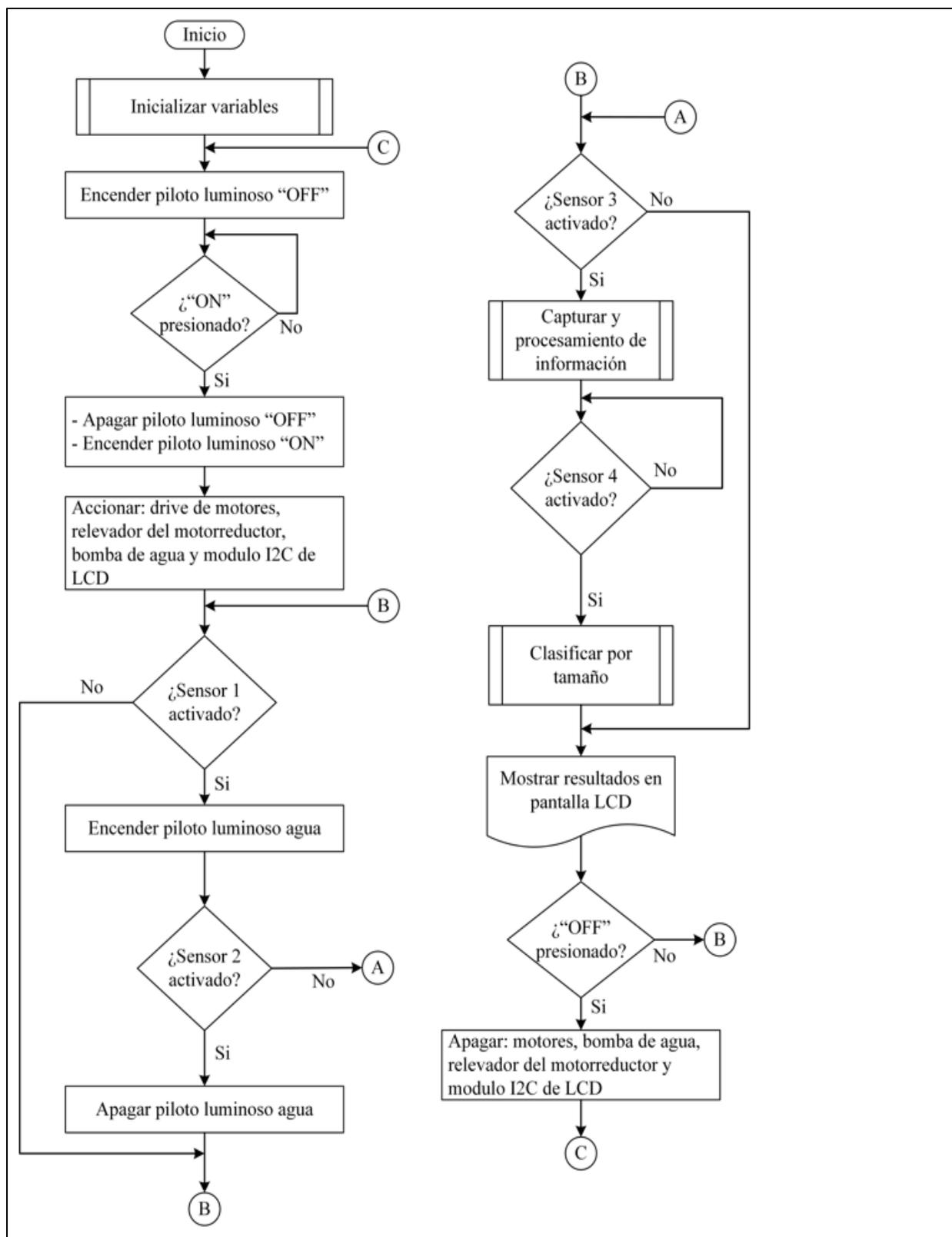


Figura 6.40 Diagrama de flujo del sistema. Fuente: Elaboración propia.

6.11.1 Subprograma de “Capturar y procesamiento de la información”

Dentro de este subprograma se muestra el algoritmo a seguir para realizar el procesamiento de la imagen (ver Figura 6.41). En primer lugar, se realiza la captura de imágenes y se realiza un pre procesamiento, el cual consta en adaptar la imagen aplicando filtros y técnicas de procesamiento (binarización e histogramas). Luego, se realiza un análisis de imagen calculando la longitud de la trucha. Por último, esta información es guardada en un registro del controlador.

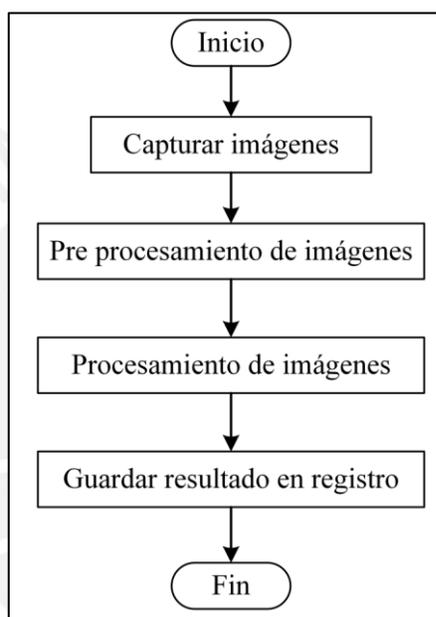


Figura 6.41 Subprograma de “Capturar y procesamiento de imagen”. Fuente: Elaboración propia

6.11.2 Subprograma de “Clasificar por tamaño”

El subprograma empieza leyendo la longitud del pez. Luego, si la longitud es menor igual a la longitud máxima de un una trucha tipo juvenil, el primer brazo de selección se accionará. En caso la anterior premisa no se cumpla, el programa analizará si la longitud se encuentra entre la trucha máxima juvenil y la trucha máxima de tipo engorde. Si la anterior sentencia se cumple se acciona el segundo brazo de selección, caso contrario no se acciona ningún brazo. De esta manera, la trucha de mayor longitud pasa directamente hacia el depósito de tipo reproductor (ver Figura 6.42).

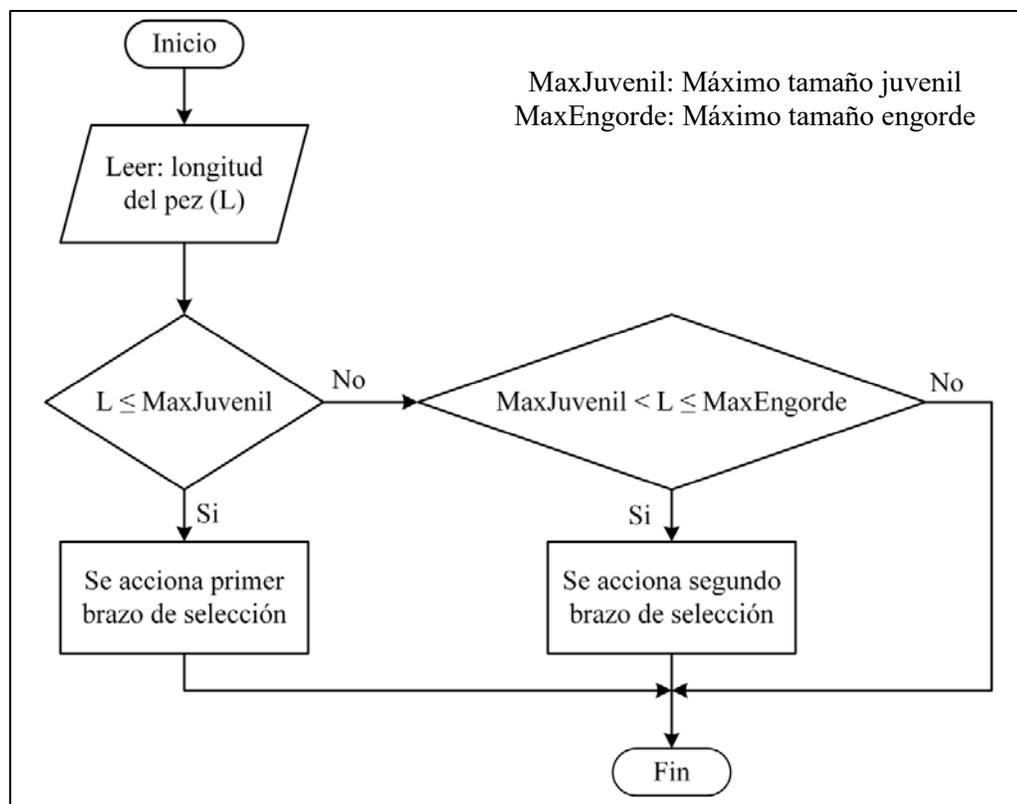


Figura 6.42 Diagrama de flujo de “Clasificar por tamaño”. Fuente: Elaboración propia.

6.12 Lista de planos

En el Anexo N, Tabla N1 y Tabla N2 se muestran las listas de planos, las cuales se divide en número de lámina, nombre y tamaño.

7. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y ANÁLISIS DE DATOS

Una vez diseñado el sistema mecatrónico se realizan las pruebas del procesamiento de imagen para determinar el tamaño de la trucha. Se explicará la implementación del algoritmo, el cual tiene la finalidad de obtener una relación entre la imagen y la longitud del pez. Para finalizar, se realizará un análisis con los resultados obtenidos.

7.1 Implementación del programa de prueba

En la Figura 7.1 se muestra el diagrama de flujo del programa, el cual son los pasos a seguir para determinar el tamaño del pez. En este algoritmo se hará uso del plano HSV, el cual es ideal para el reconocimiento de colores, debido a que en la capa H se podrá identificar el color del objeto de interés. Adicionalmente, en la capa S y V se identificarán la tonalidad (cuan blanco es) y la luminosidad (cuan oscuro o claro es) del objeto respectivamente. Para la implementación de programa se utilizará el software Python la versión 3.9, el cual se hará uso de la librería OpenCV, debido a que este es una herramienta usada para visión artificial.



Figura 7.1 Diagrama de flujo del algoritmo. Fuente: Elaboración propia.

La longitud de cada trucha será hallada, mediante el parámetro de área. Es decir, se encontrará una relación entre el tamaño y la cantidad de píxeles que forma el área de un pez. Para ello, se toma una muestra de 15 truchas con diferentes etapas del ciclo de vida (juvenil, engorde y reproductor), las cuales se determinará el área. A continuación, se muestra la implementación del programa.

7.1.1 Imagen original

Para las pruebas de procesamiento de imagen se diseñó una cubierta de captura de imagen con dimensiones iguales al diseño propuesto en el capítulo anterior (ver Anexo O, Figura O1). En la Figura 7.2 se muestra la distribución de las luces led en el interior de la cubierta, el cual tiene la función de mejorar la iluminación en la captura de imagen. Además, se seleccionó una cámara web de la marca LOGITECH modelo BRIO 4k⁴⁶ para realizar las pruebas, el cual tiene un campo visual de 65°, y puede llegar a 60 FPS.

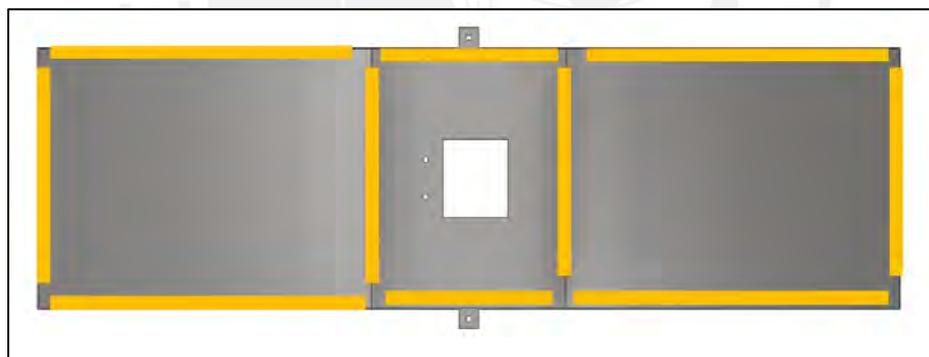


Figura 7.2 Distribución de las luces led en la cubierta. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el acondicionamiento de la cubierta, se procede a realizar las pruebas. Para ello, se realizan 2 capturas por pez, con la finalidad de determinar los parámetros HSV. En la Figura 7.3 se muestra una de las capturas que se realizó.

⁴⁶Catálogo de cámara Web LOGITECH modelo BIOR 4k (Logitech, 2019)



Figura 7.3 Imagen original. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 Plano HSV y cálculo de parámetros

La imagen original se pasa al plano HSV, donde se obtendrán los valores máximos y mínimos de cada parámetro. Se implementa un algoritmo, el cual consiste en un conjunto de controles deslizante, donde se ajusta cada valor para obtener los parámetros deseados (ver Anexo O, Figura O3). Estos valores se obtienen por una inspección en la imagen original, donde se va probando cada parámetro mientras se va observando el objeto de interés. El código de programación se muestra en el Anexo O, Figura O2.

En este caso los valores de H y S máximos obtienen un valor de 255. Caso contrario de los valores H, S y V mínimos, los cuales mantienen un valor en 0. De esta manera, se concluye que solo se requerirá calibrar el valor V máximo para poder obtener el objeto de interés. En la Figura de 7.4 se visualiza que, al aumentar este valor, se va obteniendo la imagen del pez.

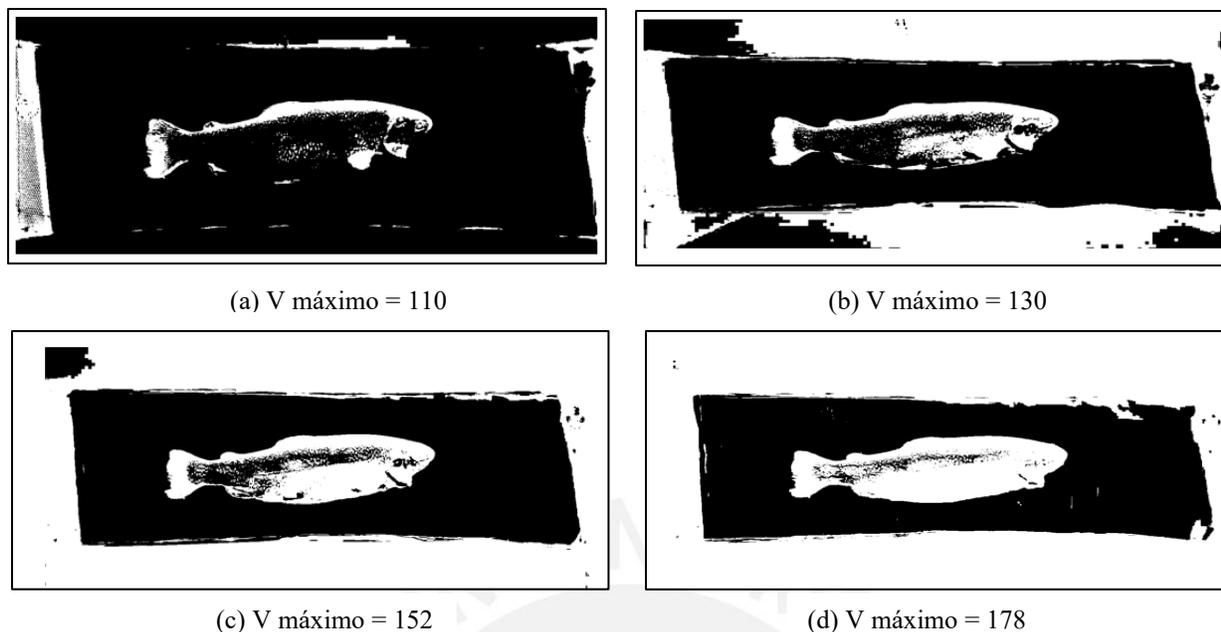


Figura 7.4 Valores del parámetro V máximo. Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de asignarle diferentes valores de V máximo es tener una imagen con el menos ruido posible, el cual será eliminado por filtros y operaciones morfológicas. Por ello, se requiere utilizar un valor único de V máximo, el cual pueda asignarse a todos los peces. Se halló el V máximo de cada pez de prueba cuyo promedio de las 15 truchas fue 178 (ver Anexo O, Tabla O1).

7.1.3 Filtros y operaciones morfológicas

Para eliminar el ruido se hará uso de las operaciones morfológicas de erosión y dilatación. Se elabora una Tabla (7.2), el cual se muestra la secuencia de las operaciones, elemento estructurante y la cantidad de iteraciones de cada proceso morfológico.

Tabla 7.1

Secuencia de operaciones morfológicas

Nº	Operación morfológica	Elemento estructurante (Kernel)	Iteraciones
1	Erosión	7 x 7	1
2	Dilatación	7 x 7	8
3	Erosión	5 x 5	10

Fuente: Elaboración propia.

En la primera erosión se eliminan los puntos blancos alrededor del pez. Luego, en la dilatación se filtran los puntos negros en el interior de la trucha. Finalmente, se realiza una segunda erosión con el objetivo de volver al tamaño original. En la Figura 7.5 se muestra cada operación morfológica.

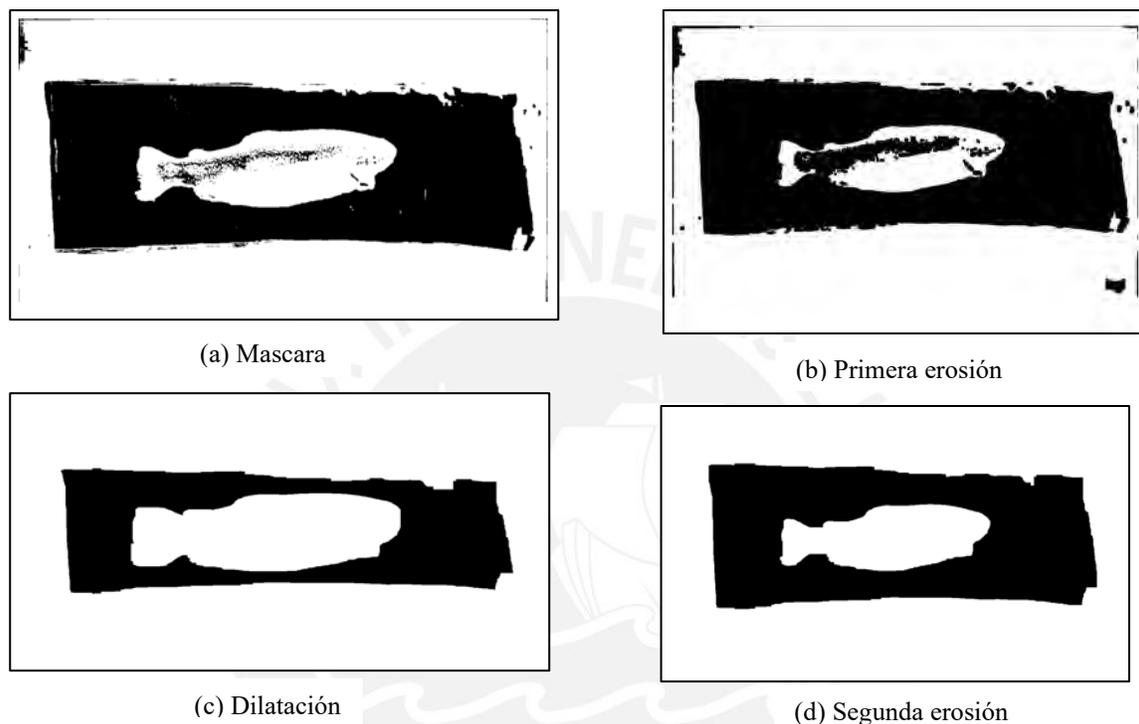


Figura 7.5 Operaciones morfológicas. Fuente: Elaboración propia.

7.1.4 Cálculo de área

En la librería OpenCV existe una sentencia, la cual determina el parámetro área de un contorno cerrado. Sin embargo, luego de la segunda erosión se forman 3 regiones cerradas como se ve en la Figura 7.6. Esto es un problema, ya que, al momento de calcular el área, se estaría obteniendo 3 valores. Por ello, se implementa un algoritmo, el cual suprime esos contornos (ver Anexo O, Figura O4).

Se determina el rango de valores del área de una trucha en la fase evolutiva de tipo juvenil y reproductor. Se realizaron pruebas con un trucha de longitud 12.2 cm y 33 cm, el cual se obtuvo

un rango de [25000 – 90000] píxeles. Es decir, dentro de ese rango se encontrarán las truchas de tipo juvenil, engorde y reproductor. En la Figura 7.7 se muestra el área de la trucha determinada gracias al algoritmo mencionado anteriormente.

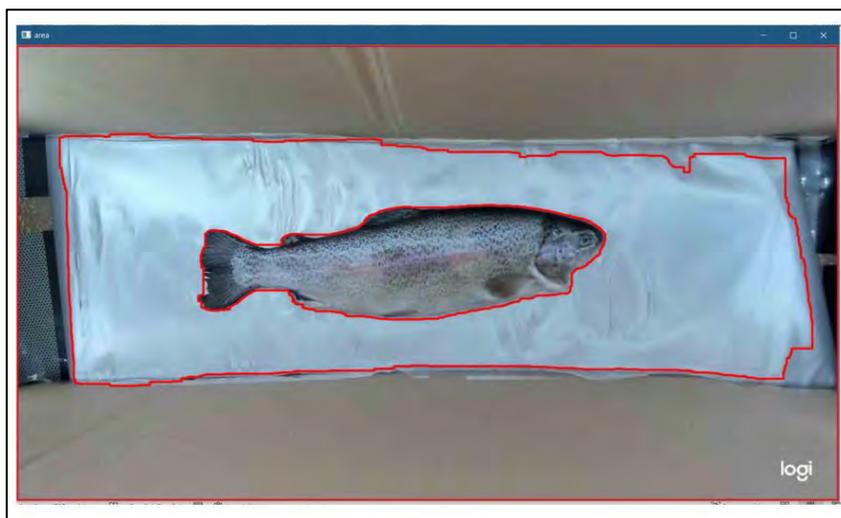


Figura 7.6 Contornos cerrados. Fuente: elaboración propia.

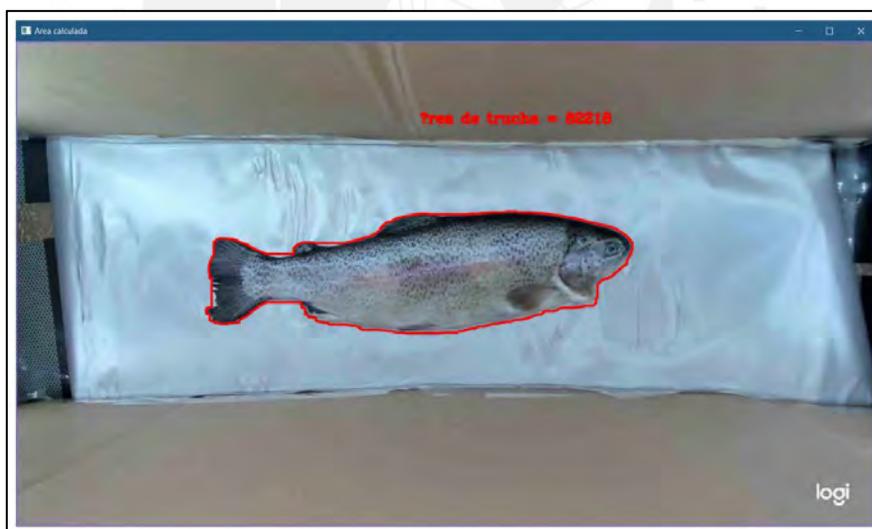


Figura 7.7 Área de la trucha. Fuente: Elaboración propia.

7.2 Análisis de datos

En este subcapítulo se detallará la relación que hay entre el área de la trucha y la longitud del pez. Se establece como hipótesis que a medida que el pez tenga mayor longitud, el área de este será mayor. Por ello, se realiza una tabla, donde se menciona el tamaño del pez con respecto al área en

píxeles. Finalmente, se establece un rango de tamaños para cada tamaño de trucha (juvenil, engorde y reproductor).

7.2.1 Área vs longitud

Se elabora una tabla (Anexo O, Tabla O2) de la longitud de cada pez con respecto al área en píxeles. De esta manera se realiza un gráfico (Figura 7.8) con la finalidad de observar la relación entre ambos parámetros.

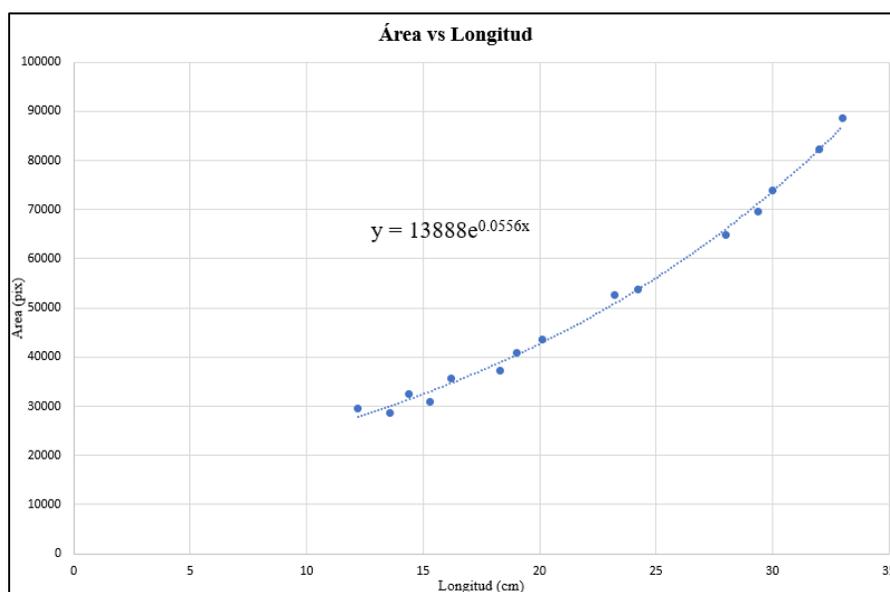


Figura 7.8 Área vs longitud. Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se aplica una tendencia exponencial, debido a que los valores son más cercanos a esta curva. Se elabora una tabla (ver Anexo O, Tabla O3), en la cual se visualiza un margen de error en cada una de las mediciones. De esta manera, se calcula que el promedio de errores, el cual es 2.97 %.

7.2.2 Rango de valores para la toma de decisiones

En base a las pruebas realizadas, se hace una tabla, donde se muestran los rangos en píxeles de cada tipo de trucha. Esto se realiza con la finalidad de que el programa identifique que tipo de pez será seleccionado.

Tabla 7.2*Rango de píxeles*

Tipo de pez	Área (pix)
Juvenil	[2600 – 35585]
Engorde	[35585 – 58746]
Reproductor	[58746 – 90000]

Fuente: Elaboración propia.**7.3 Tiempo de ejecución del algoritmo**

El algoritmo es implementado en una Raspberry PI 4b, la cual cuenta con un procesador Broadcom BCM2711, Cortex – A72 de 4 núcleos a 1.5 GHz y una memoria RAM de 8GB. Importando una librería de OpenCV, se determina el tiempo que se ejecuta el algoritmo de procesamiento de imágenes. Es importante mencionar que, para una mayor precisión del área de la trucha, se realizaron 3 capturas de imágenes, las cuales se promedian para obtener un solo valor. De esta manera, se detalla los tiempos de ejecución del algoritmo en las siguientes tablas.

Tabla 7.3*Promedio de tiempo para la captura de imagen*

Pez 1 (ms)			Pez 2 (ms)			Pez 3 (ms)			Pez 4 (ms)			Pez 5 (ms)		
76	82	81	77	78	77	77	78	78	81	79	80	76	76	75
79.67			77.34			77.67			80			75.67		
Promedio									78.07 ms					

Fuente: Elaboración propia**Tabla 7.4***Promedio de tiempo de cálculo del área*

Pez 1 (ms)			Pez 2 (ms)			Pez 3 (ms)			Pez 4 (ms)			Pez 5 (ms)		
58	58	58	57	58	57	58	58	59	58	57	59	58	57	57
58			57.34			58.4			58			57.34		
Promedio									57.82 ms					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.5*Promedio de áreas*

Pez 1 (ms)			Pez 2 (ms)			Pez 3 (ms)			Pez 4 (ms)			Pez 5 (ms)		
12	15	12	13	13	13	12	13	13	13	11	12	12	12	13
13			13			12.67			12			12.34		
Promedio						12.607 ms								

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 7.6***Tiempo de toma de decisiones*

Pez 1 (ms)			Pez 2 (ms)			Pez 3 (ms)			Pez 4 (ms)			Pez 5 (ms)		
9	8	9	8	8	8	9	8	8	8	7	8	7	7	7
8.67			8			8.34			7.67			7		
Promedio						7.936 ms								

Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculado cada paso de ejecución del algoritmo, se suma los tiempos de estos como se observa en la Tabla 7.7. De esta manera, el tiempo total de procesamiento es de 156.433 ms.

Tabla 7.7*Tiempo total del algoritmo*

Etapas de ejecución del algoritmo	Tiempo (ms)
Captura de imagen	78.07
Cálculo de áreas	57.82
Promedio de áreas	12.607
Toma de decisiones	7.936
Tiempo total del algoritmo	156.433

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, el tiempo total de procesamiento del algoritmo es 0.156 segundos. Tomando como referencia que el tiempo que demora cada pez en ingresar a la cubierta es de 1.875 segundos (determinado en el capítulo 6.4.3), se concluye que el algoritmo es lo suficientemente rápido para que pueda detectar un pez tras otro.

8. ESTIMACIÓN DE COSTOS

En esta sección se presenta una estimación de costos para la fabricación de la máquina. Esto se divide en costos de componentes eléctricos y electrónicos, costos de componentes mecánicos, costo de fabricación, costo de fabricación y costo de diseño. En a la Tabla 8.1 se muestra el monto general de la máquina (incluyendo IGV) el cual asciende a S/. 48 285 que equivale a un monto aproximado de **13 050** USD. En el Anexo P se muestran las tablas de costos de fabricación, componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos.

Tabla 8.1

Costos generales

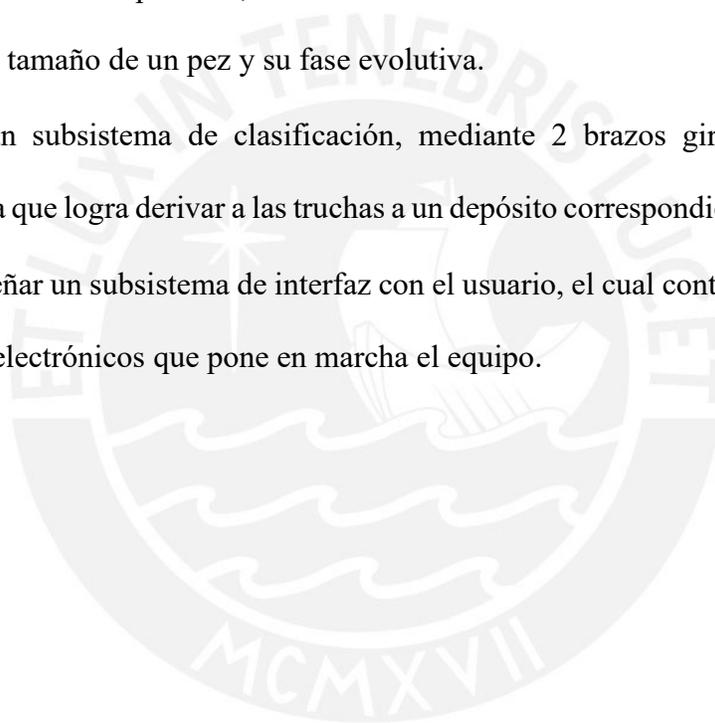
Aspecto	Monto (S/.)
Componentes eléctricos y electrónicos	17 089
Componentes mecánicos	8 242
Fabricación	13 954
Programación	4 000
Diseño	5 000
Costo total	48 285

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Se logró diseñar una máquina que clasifica truchas por tamaño mediante visión por computadora, cuidando la integridad física del pez y manejado por un solo operario. El sistema puede clasificar como máximo 1920 truchas / hora, seleccionando tres tipos de tamaño: juvenil (12 cm -17 cm), engorde (18 cm – 26 cm) y reproductor (27 cm a más). De esta manera, se consigue el objetivo propuesto en los requerimientos del proyecto.
- Se consiguió encontrar una relación entre el área (píxel) y la longitud de cada pez (cm), mediante el procesamiento de imágenes con un error 2.97 %. De este modo, se obtiene una función que logra estimar el tamaño de cualquier trucha en las tres últimas fases de evolución.
- Se logró realizar un diseño óptimo, considerando la metodología VDI 2206, el cual ha sido validado mediante simulaciones en el dominio mecánico y realizando pruebas de procesamiento de imágenes.
- Se ha obtenido un costo de 13 050 USD para la implementación de la máquina, resultando más económico que los distintos fabricantes existentes en el mercado internacional (40 000 USD – 80 000 USD).
- Se logró cumplir con los requerimientos asociados a las dimensiones generales, seguridad, montaje y utilización de componentes de grado alimentario. En el capítulo 6 se muestra a detalle los materiales utilizados en el diseño de la máquina y las dimensiones generales. Además, los componentes electrónicos cuentan con un alto grado de IP para una mayor seguridad a los chorros de agua.

- Se logró diseñar un subsistema de recepción y singularización, con la finalidad de recibir a los peces en una tolva y los separe uno por uno mediante un brazo giratorio.
- Se logró diseñar un subsistema de aspersion, el cual logra distribuir agua hacia los peces por medio de un reservorio y una bomba. De esta forma, los peces no se estresarán y se protegerá su integridad en el proceso de clasificación.
- Se diseñó un subsistema de captura de imagen, el cual cuenta con una cámara industrial y una cubierta. En el capítulo 7, se realizó una simulación de este subsistema logrando identificar el tamaño de un pez y su fase evolutiva.
- Se diseñó un subsistema de clasificación, mediante 2 brazos giratorios y una banda transportadora que logra derivar a las truchas a un depósito correspondiente según su tamaño.
- Se logró diseñar un subsistema de interfaz con el usuario, el cual contiene los componentes eléctricos y electrónicos que pone en marcha el equipo.



RECOMENDACIONES

- En la aplicación de visión por computadora, se realizaron pruebas de identificación de tamaño del pez por medio de video a tiempo real. Esto se realizó para obtener una solución más eficaz y rápida a nivel computacional. Sin embargo, el tiempo de procesamiento tuvo un retardo de 1.8 segundos comparado con la identificación de características en fotos. Esto se debió a que la Raspberry que se utilizó en las pruebas fue de 8 GB de RAM. Por ello, se requiere realizar pruebas con un ordenador de mayor capacidad de procesamiento y así poder optar por una mejor solución en velocidad.
- Se debe realizar pruebas de sincronización de la bomba de peces y el brazo giratorio de singularización, debido a que evite posible acumulación y aplastamiento de peces en la tolva de recepción.
- Se sugiere pintar de un color diferente al gris en la “Rampa Inclinada” del subsistema de captura de imagen, puesto que la trucha Arco Iris, en la mayoría de los casos, tiene un color similar al gris. Esto minimizaría la cantidad de iteraciones en las operaciones morfológicas y los errores en la identificación del tamaño del pez, conllevando a que se obtengan nuevos valores de los parámetros HSV en la programación.
- Se recomienda que antes de aplicar el algoritmo de procesamiento, se acondicione la imagen reduciendo su resolución para así obtener un menor tiempo de procesamiento.
- Queda pendiente la programación del controlador de los sensores y actuadores para un posible trabajo posterior. Se debe tomar en cuenta que existen eventos simultáneos y sincronizados en los motores. Por ello, se recomienda el uso de interrupciones en la programación.

BIBLIOGRAFÍA

- ACUINUGA. (2015). *Clasificadora de peces vivos*. Consultado 10 de abril de 2020.
http://www.acuinuga.com/wp-content/uploads/2018/08/510_clasificadora_peces.pdf
- ARGSeguridad. (2016) *¿Qué es la protección IP de resistencia al agua?* Recuperado de
<https://www.argseguridad.com/blog/que-es-la-proteccion-ip-de-resistencia-al-agua/>
- AUTOMATISMO. (2020). *SIEMENS VS SCHNEIDER*. Recuperado de
<https://automatismosmundo.com/siemens-vs-schneider-electric-tan-claro-lo-tienen/#:~:text=Ambos tienen características similares pero,año 2019 de ambos fabricantes.>
- Barriga, B. (2019). *Dibujo Técnico en Ingeniería Mecánica* (Vol. 1; P. Edición, Ed.).
- Cartucher, H. (2010). *Secretos de la cría y pesca de truchas*. Recuperado de
<https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/secretos-cria-y-pesca-truchas.html>
- El Economista América (2020). *Exportaciones pesqueras tuvieron desempeño positivo el 2020*.
 Recuperado de
<https://www.eleconomistaamerica.pe/economia-eAm-peru/noticias/10378392/02/20/Exportaciones-pesqueras-tuvieron-desempeno-positivo-el-2020.html>
- FAIVRE. (2017a). *Bomba de peces*. 8–9. Recuperado de <https://www.nauticexpo.es/prod/faivre-sarl/product-44872-547607.html>
- FAIVRE. (2017b). *Clasificadora de pescado para la acuicultura Heliovision*.
 Recuperado de
<https://www.nauticexpo.es/prod/faivre-sarl/product-44872-547593.html>
- FAO. (2010). *Clasificación por tamaño de los peces*. Recuperado de
[Http://Www.Fao.Org/Tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/X6709s/X6709s12.Htm#top](http://Www.Fao.Org/Tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/X6709s/X6709s12.Htm#top).
http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s12.htm#top
- Fishcounter, A. (2016). *Contador de Peces*.
 Recuperado de
<https://www.agriexpo.online/es/prod/faivre-sarl/product-174867-105157.html>
- FONDEPES. (2004). Manual de cultivo de trucha arco iris en jaulas. *FONDEPES*, 1(4), 53.
- FONDEPES. (2014). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales. *Ministerio de La Producción -Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero*, 34–35. Recuperado de
https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf

- Gestion. (2019). *Envíos de trucha anotaron crecimiento de 41% entre enero y noviembre del 2018*. Economía. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/envios-trucha-anotan-crecimiento-41-enero-noviembre-2018-nndc-256750-noticia/?ref=gesr>
- Gestion, M. y. (2020). *Cuello de botella en la producción: qué es y cómo afrontarlo*. Infaimon. Recuperado de <https://blog.infaimon.com/cuello-botella-la-produccion-afrontarlo/>
- Gulland, J. (1971). *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces*. FAO. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 164 pp. 93–108.
- Huamaní Aguilar, M. L., & Mantilla Bueno, S. C. (2017). *Importación de ovas de trucha arco iris y la sostenibilidad del centro piscícola el Ingenio del distrito de Ingenio – Junín*. 133. Recuperado de http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/2802/3/huamani_aml.pdf
- Integraqua. (2018). *Qgrader clasificador de peces planos*. 6–7. Recuperado de <http://www.integraqua.com/images/fichas-tecnicas/Qgrader.pdf>
- Logitech. (2019). *Cámara Web Logitech BRIO con vídeo 4K Ultra HD y RightLight 3 con HDR*. Recuperado de <https://www.logitech.com/es-es/product/brio>
- Ministerio de la Producción. (2018). *Anuario estadístico pesquero y acuicola 2017*. 205. Recuperado de http://ogeiee.produce.gob.pe/images/Anuario/Pesca_2017.pdf
- Ministerio de Trabajo y Promoción del. (2008). *Normas Básicas de Ergonomía. Normas Básicas de Ergonomía, Anexo 1*. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/472127/Anexo_1Norma_Básica_de_Ergonomía...pdf
- Naylamp Mechatronics. (2021). *Naylamp Mechatronics - Perú*. Naylampmechatronics. Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/>
- Orellana Lizano, H. (2008). *Diseño y desarrollo de un algoritmo que permita estimar el tamaño de peces, aplicando visión por computadora, y propuesta para realizar la selección adecuada de dichos peces*. 147. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/275>
- Orna Rivas, E. (2010). *Manual de alimentos balanceados para truchas*. Manual, 1–30. Recuperado de http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA_OTRO/difusion-publicaciones/pepa-puno/ALIMENTO_BALANCEADO.pdf

Paredes Bravo, D., & Pilco Ati, A. (2015). Departamento de Ciencias de la Educación. In *Sistema automática de clasificación y cuantificación de peces para la acuicultura con enfoque al cambio de la matriz productiva en la hacienda El Prado*, Universidad de las Fuerzas Armadas'.

Recuperado de

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10991>

PENTAIR. (2016) *Clasificadora de peces VAKI*.

Recuperado de

https://pentairaes.com/media/espanol/paes_vaki_fish_grader_brochure_spanish_02-digital.pdf

PRODUCE. (2016). Estadístico Pesquero y Acuícola 2016. *PRODUCE*. Recuperado de

<https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-documentos-publicaciones/publicaciones-anales/item/775-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2016>

Prom-Perú, D. de inteligencia de mercados. (2018). Informe Especializado Oportunidades para la trucha en el mundo. *Informes Especializados*, 20.

Recuperado de

<http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/alertas/documento/doc/305234630radB5AF3.pdf>

Rehoo. (2020). *Máquina clasificadora de peces*. 2020.

Recuperado de

https://es.made-in-china.com/co_rehoo00/product_Chicken-Sorter-Machine_euhosuosy.html

REVESOL. (2019). *POLEAS Y POLINES*.

Recuperado de <http://www.revesol.cl/htm/brochure04.html>

Roque, E. R. (2015). *Determinación de costos de producción y rentabilidad de criaderos de truchas (Oncorhynchus mykiss) en jaulas flotantes del Distrito de Capachica-Puno* [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. Recuperado de

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1814>

SEIN- DISTRIBUIDOR ELECTRICO. (2022). *SEIN - Distribuidor eléctrico*.

Recuperado de <https://sein.com.pe/>

UNSA. (2020) Ingeniería de alimentos II. *Acero Inoxidable en la Industria Alimentaria*, pp. 5-13

Woynarovich, A y Hopisty, G., 2011. (resumido y adaptado por la Dirección de Acuicultura). (2014). Manual Práctico para el Cultivo de la Trucha Arcoíris. In *FAO Fisheries and Aquaculture*.

Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>