

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

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

Tesis para optar el título profesional de INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTOR

Pablo Remigio Díaz Vergara

ASESOR

Ing. Pedro Moises Crisóstomo Romero

Lima, 9 de mayo de 2020

Resumen

Escribir resumen aquí

Introduction

Según FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), el salmón y la trucha fueron los productos de pesquería más comercializados en términos de valor desde 2013 y representan alrededor de 18 % del valor total de los productos pesqueros comercializados internacionalmente desde 2017. (FAO, 2017) La producción de truchas, en lagunas y ríos en los andes, es responsable de un cuarto de la producción acuícola en el Perú.(Seafood Trade Intelligence Portal, 2018) Sin embargo, según FONDEPES (*Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero*), la región Puno centraliza dicha producción con el 82.1 % en el 2017 de la producción nacional de truchas con más de 18000 TM/Año y un porcentaje de esta se da artesanalmente.(FONDEPES, 2014) Perú ha incrementado 348.3% la extracción de truchas en los últimos 10 años.(Ministerio de la Producción del Perú, 2018)

Sin embargo, Perú cuenta con lagos y lagunas que son potenciales lugares de crianza de truchas que no son explotados debido a que se requiere un esfuerzo alto en mano de obra. Además, el costo de automatización con máquinas comerciales importadas es alto y no está destinado a pequeñas y medianas empresas. Entonces, este **trabajo de investigación** realiza un pequeño aporte a la automatización de la industria pesquera nacional. Específicamente en dos procesos que se dan cada cierto período de tiempo a medida que las truchas van aumentando sus dimensiones: la clasificación por tallas y conteo de truchas. El trabajo de investigación consta de tres capítulos: **marco problemático, diseño mecatrónico conceptual y conclusiones.**

Agradecimientos

Escribir agradecimientos aquí

Índice general

Resumen	I
Introduction	I
Agradecimientos	II
Índice general	III
Índice de figuras	V
Índice de cuadros	VII
I. Marco problemático	1
1.1. Definición de la problemática	1
1.1.1. Justificación	2
1.1.2. Alcance	2
1.1.3. Objetivos	2
1.1.4. Metodología	3
1.2. Estado del arte	4
1.2.1. Crianza de truchas	4
1.2.2. Sistema de clasificación de peces	6
1.2.3. Sistema de conteo de peces	14
1.2.4. Extracción de características de peces	18
1.2.5. Sistema de traslado de peces	20
1.2.6. Productos comerciales y patentes	22
II. Fundamentos teóricos	35
2.1. Canales RGB y HSV	35
2.2. Segmentación de imágenes	35
2.3. Redes neuronales	35
2.4. Identificador mediante redes neuronales	35
III. Diseño Mecatrónico	36
3.1. Desarrollo de proyecto conceptual	36
3.1.1. Lista de requerimientos	36

3.1.2.	Caja negra	38
3.1.3.	Estructura de funciones	39
3.1.4.	Matriz morfológica	44
3.1.5.	Conceptos de solución	45
3.1.6.	Evaluación técnico-económica	50
3.1.7.	Diagrama de operaciones de solución escogida	53
IV.	Costos	55
4.1.	Manufactura	55
4.2.	Precio unitario	55
Referencias		56

Índice de figuras

1.1.	Extracción de trucha en toneladas métricas anuales.	5
1.2.	Anatomía de la trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	7
1.3.	(a,b,c) Clasificadora de anchura fija, rejillas de clasificación y clasificadora ajustable.	9
1.4.	Clasificación y medición manual de truchas.	10
1.5.	Herramienta de medición manual para peces.	10
1.6.	Máquina seleccionadora de truchas de A. G. V.	11
1.7.	Medición automatizada de especies y tallas de peces por visión artificial. . . .	12
1.8.	Medición de peces dentro de estanques con cámaras ortogonales y estéreo. . .	12
1.9.	Pez identificado por una red neuronal.	13
1.10.	Clasificación, conteo, curado y cálculo de biomasa en la laguna de Canrash, Ancash, Perú.	15
1.11.	Contador de peces basado en luz infrarroja.	16
1.12.	Planos comunes de posicionamiento para cámaras de inspección.	16
1.13.	Contador de peces mediante escáneres.	17
1.14.	Extracción de características mediante visión por computadora.	19
1.15.	Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.	20
1.16.	Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.	21
1.17.	Recepción automática por bombeo de peces mediante tubería.	21
1.18.	Clasificadora automática de peces de origen japonés.	23
1.19.	Clasificadora automática de peces de origen chino.	24
1.20.	Clasificadora automática de peces de origen chino.	25
1.21.	Clasificadora de peces de origen alemán.	26
1.22.	Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.	27
1.23.	Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.	27
1.24.	Seleccionador con contador integrado y sus partes.	28
1.25.	Clasificadora de peces de origen danés.	30
1.26.	(a,b,c) Contador Pescavision 100, Pescavision 300 y Pescavision 10x4. . . .	31
1.27.	Contador de peces de origen belga.	32
3.1.	Caja negra del sistema.	38
3.2.	Estructura global de funciones.	40
3.3.	Dibujo conceptual de la problemática.	45
3.4.	Dibujo de concepto de solución N° 1.	46

3.5. Dibujo de concepto de solución N° 2.	48
3.6. Dibujo de concepto de solución N° 3.	49
3.7. Dibujo de distribución de truchas.	50
3.8. Análisis técnico económico.	53
3.9. Estructura global de funciones.	54

Índice de cuadros

1.1.	Comercio internacional de productos pesqueros por principales importadores y exportadores en miles de dólares.	6
1.2.	Clasificación de truchas por etapas de producción.	8
1.3.	Comparación entre los métodos de clasificación.	14
1.4.	Comparación entre los métodos de conteo de peces.	18
1.5.	Comparación entre los métodos de traslado de peces.	22
1.6.	Extracto de cotización de máquinas clasificadora y contadora para peces.	29
1.7.	Comparación de clasificadores comerciales.	33
1.8.	Comparación de contadores comerciales.	34
3.1.	Resumen de los requerimientos del sistema.	37
3.2.	Pesos de relevancia.	50
3.3.	Escala de efectividad de las soluciones.	51
3.4.	Evaluación de criterios técnicos.	51
3.5.	Evaluación de criterios económicos.	52

Capítulo I

Marco problemático

1.1. Definición de la problemática

Actualmente, la crianza de o cultivo de truchas en el Perú se da de manera artesanal, los procesos involucrados son realizados por operarios. La automatización de procesos manuales aumenta diversos factores que van desde la calidad del producto hasta la capacidad de producción. Una empresa nacional ubicada en la **región de Lima** se dedica a la producción, venta y distribución de trucha arcoíris de diversos gramajes que se comercializan en el mercado nacional. Dicha empresa nacional realizó una **consultoría privada** el año 2018, detectó altos porcentajes de mortandad y desaparición de truchas¹ en la etapa de engorde².

Según la consultoría, **la mortandad y desaparición de las truchas en la etapa de engorde** se debe a la alta densidad de las truchas en las jaulas flotantes. Las principales causas de un alto grado de desaparición están asociadas enfermedades y a la característica carnívora de las truchas, es decir, pueden alimentarse de otras truchas. **Las truchas deben ser clasificadas periódicamente** en sus respectivas jaulas flotantes, según tallas. Sin embargo, debido a la

¹Cerca del 20 % que representan aproximadamente 18 000 truchas.

²17.5 centímetros en adelante.

complejidad y cantidad de esfuerzo manual requerido³, la clasificación no es muy frecuente. Además, realizar el proceso de forma manual estresa a la trucha, pudiendo causar una muerte por estrés. Debido a esto, **el presente trabajo busca automatizar dicho proceso.**

1.1.1. Justificación

Según la empresa nacional, reducir la mortandad en el cultivo artesanal de truchas aumentará la capacidad de producción. Se detalla que cuando dichas truchas atraviesan las etapas de *alevinos III* (7.5 a 10.0 cm.), *juvenil I* (10.0 a 13.5 cm.) y *engorde* (17 cm. en adelante) aumenta la mortandad respecto a las otras etapas, siendo engorde la que más importancia tiene. La clasificación y conteo manual puede agravarse ya que en tiempos de mayor presencia fluvial se realiza el trabajo bajo condiciones meteorológicas adversas que dificultan el trabajo haciéndolo más lento y en oportunidades inviable debido a que se requiere el uso de generadores de electricidad, hacer uso de estos en esas condiciones puede generar accidentes.

Este trabajo de investigación aborda desde la problemática hasta el diseño conceptual que servirá como punto de partida para el diseño y posterior implementación de la máquina y sistemas que la compongan.

1.1.2. Alcance

Este trabajo busca diseñar un sistema clasificador y contador de truchas arcoíris de un determinado rango de tamaños. Así mismo, se busca integrar nuevas tecnologías y métodos, según sean viabilidad técnica y económica, al diseño conceptual.

1.1.3. Objetivos

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

³Cuatro operarios para una jaula de $3\ m^3$ que contienen 5000 truchas requieren 50 h.

Objetivo general

Realizar el diseño conceptual de un sistema clasificador y contador de truchas arcoíris de 15 a 20 centímetros.

Objetivos específicos

- Definir la problemática: identificar procesos críticos en la crianza artesanal de trucha arcoíris y seleccionar un proceso.
- Elaborar el diseño conceptual: elaborar la lista de exigencias, estructura de funciones, matriz morfológica y plantear tres conceptos de solución.
- Seleccionar la solución óptima y elaborar el diagrama de operaciones de la so-lución óptima.

1.1.4. Metodología

La metodología, que contempla las recomendaciones para encontrar una solución óptima, está basada en el libro *Engineering Design – A Systematic Approach*.⁴ Esta metodología puede incluir múltiples normas de diseño, en este caso las normas VDI 2221-2225 (*La Asociación de Ingenieros Alemanes*).

El análisis, el términos generales, consiste en recopilar información, realizar una lista de requerimientos, discernir entre procesos críticos que pueden ser automatizados, separar los procesos en sistemas que cumplan funciones, listar las mejores opciones para cada subsistema, iterar hasta encontrar la solución más óptima que integre todos los subsistemas, proponer tres o más soluciones óptimas como concepto de solución, seleccionar una de estas y realizar su diagrama de operaciones .

⁴Traducción: "Diseño de ingeniería: un enfoque sistemático"

1.2. Estado del arte

El estado del arte es una categoría central y deductiva que se aborda y propone como estrategia un análisis crítico de las dimensiones políticas, epistemológicas y pedagógicas de la producción investigativa en la evaluación de aprendizaje.(Guevara Patiño, 2016)

El aspecto técnico del estado del arte, al que se hace referencia en este estudio, se basa en el desarrollo de una investigación técnica documental y técnica de campo. La técnica documental permite la selección de información para explicar las teorías que sustentan el estudio de los fenómenos y procesos.(Martinez, 2003) Además, las técnicas de investigación de campo son aquellas que el investigador utiliza en el desarrollo práctico o teórico de su proceso investigativo con el fin de corroborar sus objetivos generales y específicos.(Guevara Patiño, 2016)

1.2.1. Crianza de truchas

Nacional

En el Perú, el **cultivo de trucha se da predominantemente de forma manual** ya que el sector es dirigido por pequeñas y medianas empresas. La capacidad de producción del Perú es alta debido a la gran cantidad de especies, recursos hidrobiológicos⁵ y climas.

El gobierno peruano implementó medidas para impulsar su desarrollo mediante el MEF⁶ en el marco de estrategia de Gobierno de impulsar y promocionar los sectores con alto potencial productivo. **Las medidas acuícolas se centran en seis ejes:** primero, fortalecimiento de la Autoridad Sanitaria; segundo, una regulación que garantice el cumplimiento de estándares de sanidad, inocuidad, ambientales y de calidad de los productos; tercero, escalar y abrir nuevos mercados para las exportaciones acuícolas; cuarto, impulsar la gestión y articula-

⁵Se refieren a los organismos que pasan toda su vida o parte de ella en un ambiente acuático y son utilizados por el hombre de forma directa o indirecta.(MINAGRI, 2011)

⁶Ministerio de Economía y Finanzas.

ción interinstitucional; quinto, promocionar apoyo tecnológico e innovación en especial para las micro y pequeñas empresas; sexto, mejorar infraestructura. (Andina, 2019)

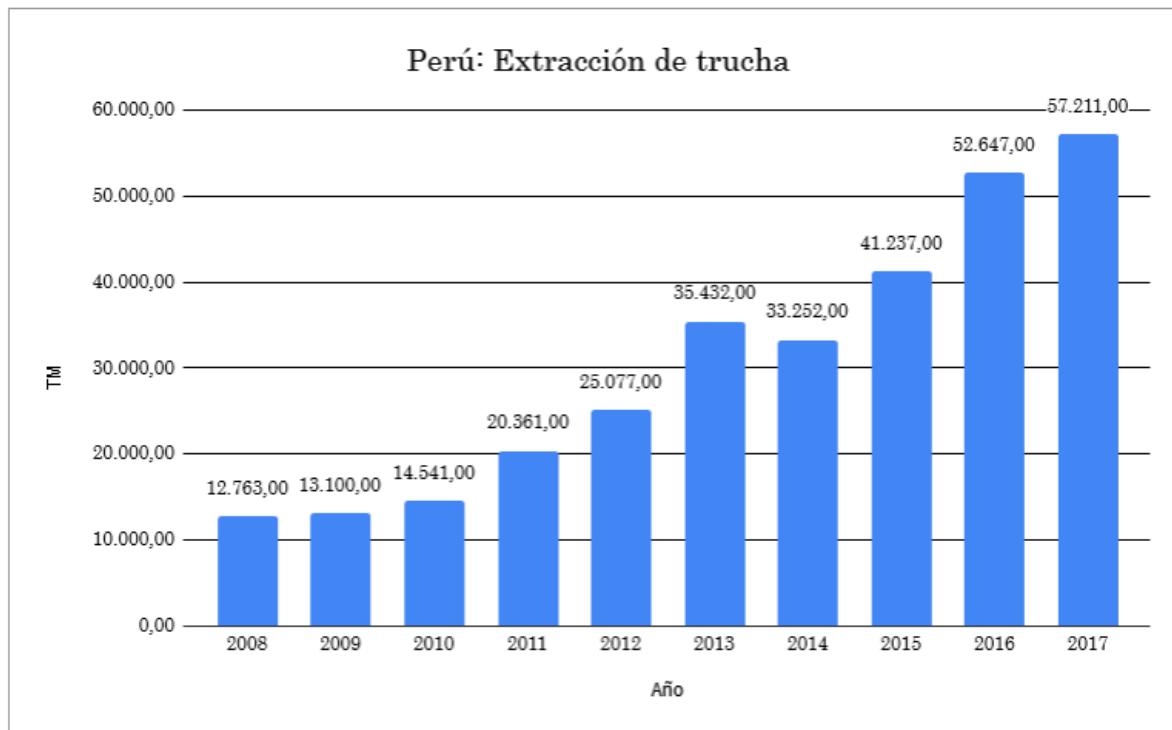


Figura 1.1: Extracción de trucha en toneladas métricas anuales.

Datos: (Ministerio de la Producción del Perú, 2018)

Gráfico: Elaboración propia.

Internacional

En **China**⁷, principal país exportador en acuicultura a nivel mundial con 20 mil millones de dólares (FAO, 2017, p. 44), se usa métodos de crianza de truchas que reducen la *mortalidad* y el *estrés hídrico* que afectan a las truchas. Procesos automatizados y estandarizados aumentaron la producción de trucha arcoíris a nivel internacional. Lograron una reducción importante de costos en el cultivo debido a la automatización. Se controla la calidad de agua, contaminación por exceso de excremento de las truchas, temperatura del agua, tasa de crecimiento, etc. (沈蓓杰 y cols., 2017, p. 1-6)

⁷Asia concentra alrededor del 90 % de la acuicultura mundial.(Powell, 2003)

En **Japón**, segundo país que más importa productos pesqueros a nivel mundial (FAO, 2017, p. 44), produce alrededor de 50000 especies de peces, lo que representa aproximadamente 10 mil toneladas anuales. La crianza de truchas se da en estanques de agua corriente, en lagunas y en aguas marinas profundas (estanques con agua de mar bombeadas desde la profundidad del océano 100 m. o más). Sin embargo, nuevas invasiones de patógenos están mermando la producción y debido a esto se crearon fármacos. La industria se encuentra altamente industrializada. (利岡本高瀬, 2005, p. 1-5)

En el inciso **1.2.6** se muestran productos y patentes de origen internacional, desarrollados para el sector acuícola y que son cercanos al estudio en este trabajo.

Cuadro 1.1: Comercio internacional de productos pesqueros por principales importadores y exportadores en miles de dólares.

A-3	International trade in fishery commodities by principal importers and exporters Commerce international des produits de la pêche par principaux importateurs et exportateurs Comercio internacional de productos pesqueros por principales importadores y exportadores						USD 1 000
	Imports - Importations - Importaciones			Exports - Exportations - Exportaciones			
Country or area Pays ou zone País o área	2015	2016	2017	Country or area Pays ou zone País o área	2015	2016	2017
USA ⁽¹⁾	19 820 311	20 546 742	21 639 466	China	19 737 723	20 131 384	20 524 313
Japan	13 460 585	13 878 490	14 997 942	Norway	9 187 704	10 770 007	11 282 174
China	8 467 702	8 783 461	10 679 437	Viet Nam	6 756 070	7 320 009	8 542 597
Spain	6 440 496	7 107 504	7 979 020	India	4 871 591	5 546 049	7 173 609
France	5 730 886	6 177 285	6 698 942	USA	5 911 022	5 812 480	6 088 538
Italy	5 537 898	6 152 964	6 546 856	Thailand	5 677 394	5 892 629	6 015 280
Germany	5 132 326	5 601 465	5 718 418	Chile	4 812 362	5 143 365	5 991 129
Korea Rep	4 349 541	4 604 070	5 103 715	Canada	4 704 012	5 004 046	5 351 728
Sweden	4 424 106	5 187 383	4 930 538	Netherlands	3 612 174	4 182 424	5 260 237

Fuente: FAO.

1.2.2. Sistema de clasificación de peces

Existen **dos dimensiones** en las que se basa la clasificación: **la distancia desde la boca hasta la aleta caudal** en sus respectivos extremos y **la circunferencia** que alrededor del pez cerca del inicio de la aleta dorsal. En la Figura 1.2 se muestra la anatomía de la especie y se puede observar las regiones de la trucha.

En la práctica, sabiendo que se puede aproximar una medida a partir de la otra, solo se to-

ma la distancia que cubre las tres regiones.⁸ Se realiza este proceso para evitar problemas que afecten negativamente la producción: truchas en competencia por alimento, aumento de diferencia en tallas, reducción del rendimiento del alimento, aumento de mortandad en los peces de menor talla, disminución de calidad y talla. Con una clasificación adecuada y oportuna se trata de **prevenir el canibalismo**⁹, uniformizar el crecimiento para brindar una alimentación adecuada a la talla, prevenir estrés y agotamiento de los peces.(Flores y cols., 2010, p. 16)

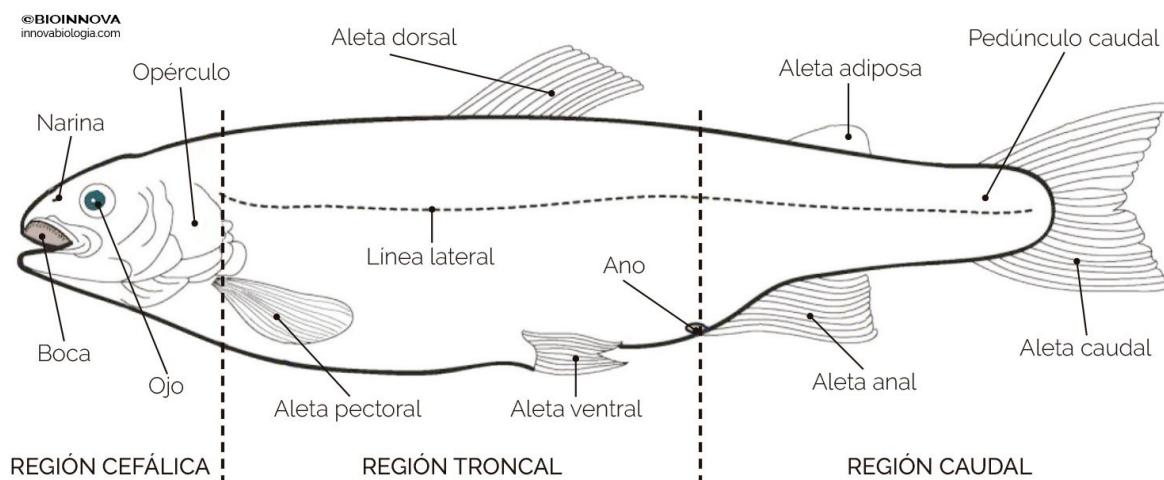


Figura 1.2: Anatomía de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).
Fuente: Bioinnova.

La clasificación por tamaño permite identificar en qué etapa de producción se encuentra la trucha. Identificar las etapas permite brindar un plan de alimentación adecuado y reducir la sobre-alimentación. En la Tabla 1.2 se muestra las etapas existentes según FONDEPES¹⁰.

⁸La toma de datos de manera manual suele ser hasta 100 veces más lenta que otros métodos.

⁹Las truchas son carnívoras por lo que pueden alimentarse de su misma especie, en este caso de los de menor talla.

¹⁰Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero

Cuadro 1.2: Clasificación de truchas por etapas de producción.

	Siembra	Alevinaje I	Alevinaje II	Alevinaje III	Juvenil I	Juvenil II	Engorde I	Engorde II	Cosecha
De (mm)	-	35	51	81	121	141	171	201	261
Hasta (mm)	34	50	80	120	140	170	200	260	-
De (g)	-	2.81	6.91	11	51	110	153	200	251
Hasta (g)	2.80	6.90	10	50	109	152	199	250	290
Este trabajo (mm)					100 a 200				

Fuente: FONDEPES.

Clasificación manual

La clasificación manual se **recomienda cuando la cantidad de truchas no supera las 1000 truchas.**(FAO, 2014, p. 25) Las cajas clasificadoras ya sean de anchura fija o ajustables son fabricadas artesanalmente como las mostradas en la Figura 1.3 Estas cajas de madera y metal con barras de metal o compuestos montados en su base dejan pasar por las rejillas a los peces que tienen determinada circunferencia, es decir, se realiza una clasificación por forma.(FAO, 2005, p. 15)

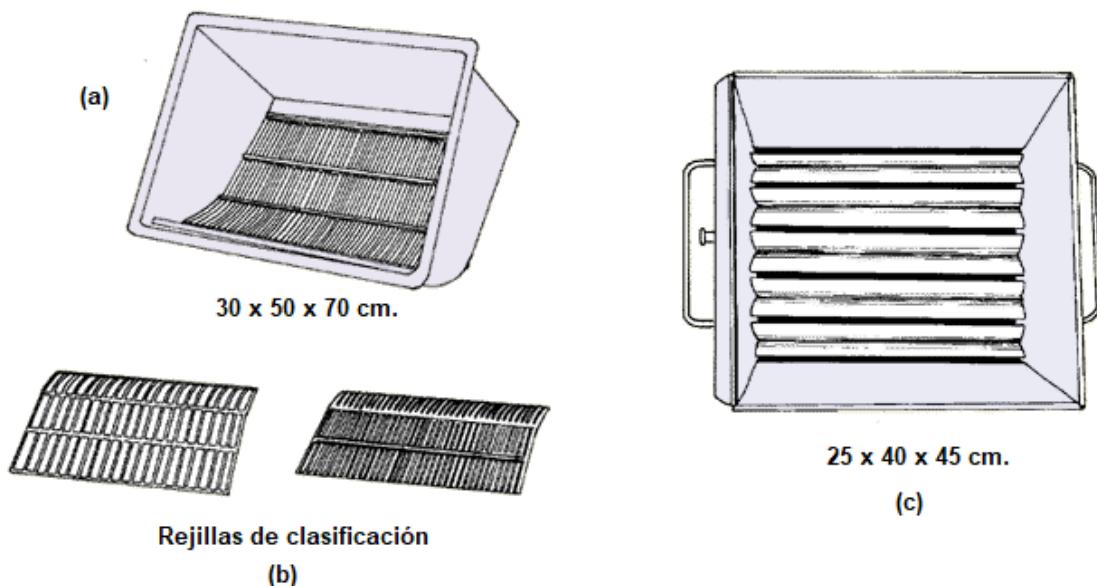


Figura 1.3: (a,b,c) Clasificadora de anchura fija, rejillas de clasificación y clasificadora ajustable.

Fuente: FAO.

Para realizar el proceso de clasificación manual (Figura 1.4) se siguen tareas consecutivas: limpiar la caja clasificadora, preparar los estanques o jaulas flotantes que intervienen en la clasificación, ubicar la caja clasificadora al borde del estanque o jaula, extraer con la sacadera telescópica¹¹ truchas de un estanque o jaula, depositar las truchas extraídas dentro de la caja, agitar la caja hasta apreciar que las truchas no pueden pasar y finalmente depositar las truchas restantes en otro estanque o jaula.

¹¹Herramienta para trasladar peces. También llamada "*chinguillo*".



Figura 1.4: Clasificación y medición manual de truchas.

Fuente: MINAGRI¹².

Para la medición se usa una herramienta, como la mostrada en la Figura 1.5, creada **artesanalmente** que contiene un ictiómetro para medir al pez mientras se realiza una clasificación o verificar el tamaño del pez.

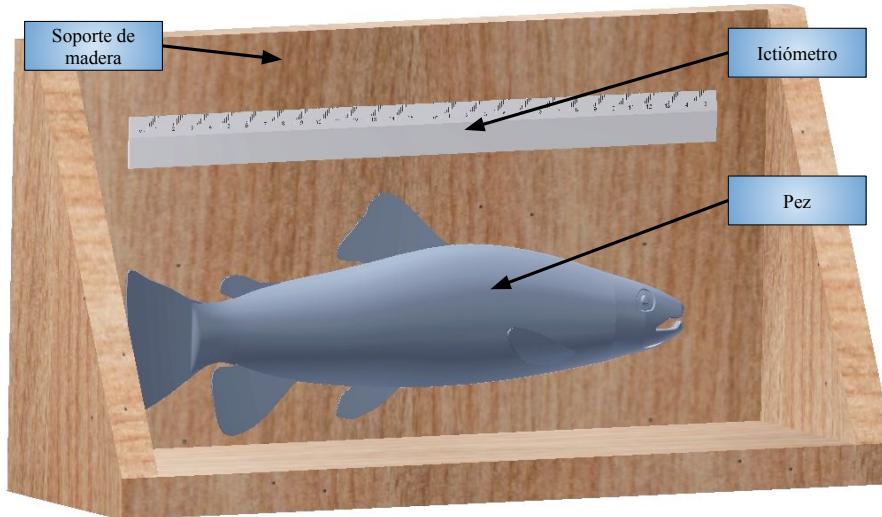


Figura 1.5: Herramienta de medición manual para peces.

Fuente: Elaboración propia.

¹²Ministerio de Agricultura y Riego del Perú.

Clasificación mecánica

La tesis que presentó el bachiller *Angel Gabriel Vega De la Cruz* desarrolla un sistema mecánico que, asegura, permite seleccionar los peces de manera rápida y eficiente. El sistema mecánico consiste en un motorreductor, un sistema de alimentación compuesto por cuatro poleas y dos bandas transportadoras. La Figura 1.6 nos muestra la máquina, la cual puede clasificar tres rangos de diferentes capacidades de selección (18 000, 7 200 y 3 600 peces/hora) a un precio estimado de S/ 19 264.27 en 2013. Otro factor importante es el peso de la máquina: 200 kg.(Vega, 2013, p. 2,105)

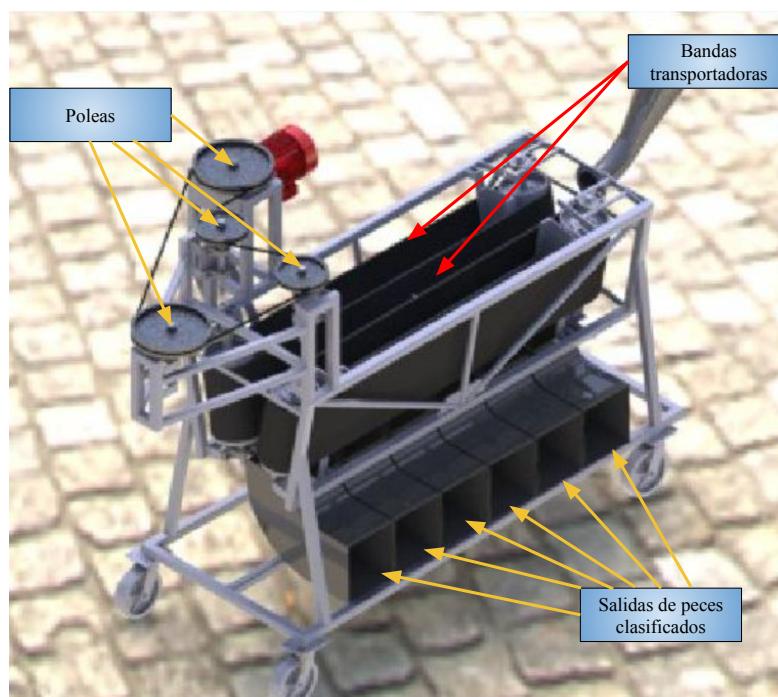


Figura 1.6: Máquina seleccionadora de truchas de A. G. V.
Fuente: Tesis “Diseño de una Máquina Seleccionadora de Truchas” .

Clasificación mediante visión por computadora

Este tipo de clasificación completamente automatizada permite un conteo de peces más rápido con respecto a otros métodos.(Niu y cols., 2018, p. 2-3) Los avances en esta área son abundantes, en la Figura 1.7 se muestra uno de estos, una segmentación partiendo de la imagen

de un pez.

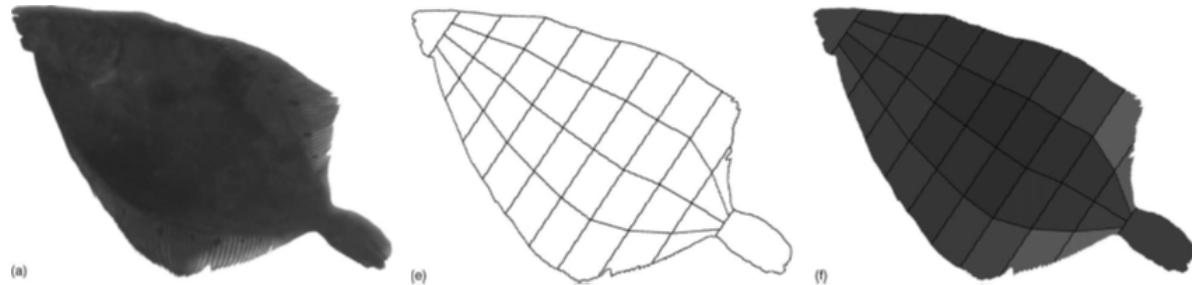


Figura 1.7: Medición automatizada de especies y tallas de peces por visión artificial.

(a,c,f) Imagen original, 100 puntos de borde y enmallado.

Fuente: (White, Svelingen, y Strachan, 2006, p. 4).

En la Figura 1.8 se muestra dos métodos para extraer la medida real de un pez para poder ser clasificado. El primero muestra un arreglo ortogonal de cámaras, en el caso de poder acceder en dos planos del estanque. El segundo muestra un arreglo que permite medir distancias entre puntos de interés mediante el uso de solo un plano del estanque.

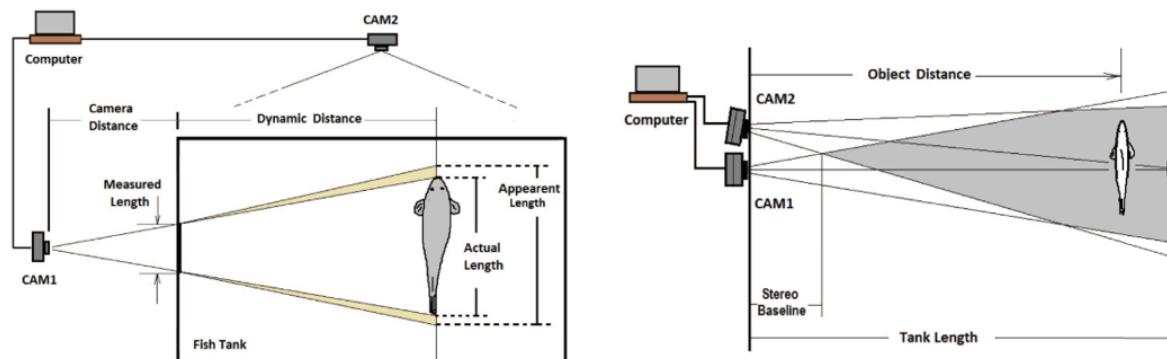


Figura 1.8: Medición de peces dentro de estanques con cámaras ortogonales y estéreo.

Fuente: (Al-Jubouri, Al-Nuaimy, Al-Taee, y Young, 2017).

Clasificación usando técnicas de inteligencia artificial

Esta tecnología es robusta, es decir, funciona aceptablemente con ruido, cambios en condiciones ambientales, cambios en la adquisición de datos, entre otros cambios. La técnica se

basa en redes neuronales¹³, con las que se logra una gran precisión para detectar y segmentar objetos en muchas diferentes condiciones (en este caso peces).

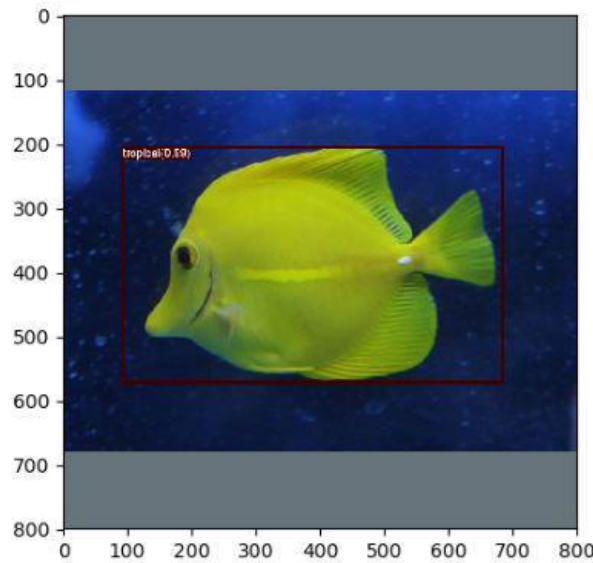


Figura 1.9: Pez identificado por una red neuronal.
Fuente: (Varalakshmi y J, 2019).

Comparación

La Tabla 1.3 desarrolla una comparación tanto cuantitativa como cualitativa de los métodos de clasificación de peces. **La cantidad de peces por hora** se refiere a la máxima cantidad que se puede clasificar en una hora según el método. **El mantenimiento** es la frecuencia en la cual la máquina pasa una inspección para verificar su correcto funcionamiento. **El costo de implementación** se refiere al costo de diseñar e implementar el método. **El costo de funcionamiento** se refiere al consumo energético en general del empleo del método. La **precisión** se refiere a la cantidad de peces bien clasificados en el proceso. La calificación “bajo, medio, alto” son juicios del autor, basándose en su experiencia.

¹³Las redes neuronales son usadas para modelar libremente la forma en que un cerebro biológico parametriza datos.

Cuadro 1.3: Comparación entre los métodos de clasificación.

Criterio\Método	Manual	Mecánico	Visión por computadora	Inteligencia Artificial
Cantidad de peces por hora	120 (por operario)	18000	Según capacidad de cómputo	Según capacidad de cómputo
Mantenimiento	-	Semestral	Anual	Anual
Costo de implementación	Bajo	Medio	Medio	Medio
Costo de funcionamiento	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Precisión	Media	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: Elaboración Propia.

1.2.3. Sistema de conteo de peces

El proceso se realiza como método para calcular la **biomasa**¹⁴, verificar la **mortandad** y con propósitos de venta. Se realiza un conteo del pez directa o indirectamente.

Conteo manual

Debido a que realizar de forma separada y manual los procesos de clasificación, conteo o curado¹⁵ de truchas requeriría de excesivo tiempo y operarios, se suele realizar los tres procesos de manera como si de un solo proceso se tratase como se muestra en la Figura 1.10. El proceso resultante contempla los tres subprocessos de manera secuencial: extracción de la trucha de los estanques o jaulas flotantes, curado, clasificación, conteo y cálculo de biomasa en un determinado recipiente.

¹⁴La masa total de peces en un volumen determinado, se usa para determinar la cantidad de alimentación.

¹⁵Proceso de aplicar sal marina a los peces con la finalidad de sanar de enfermedades como *saprolegniosis* o *exoftalmia*.

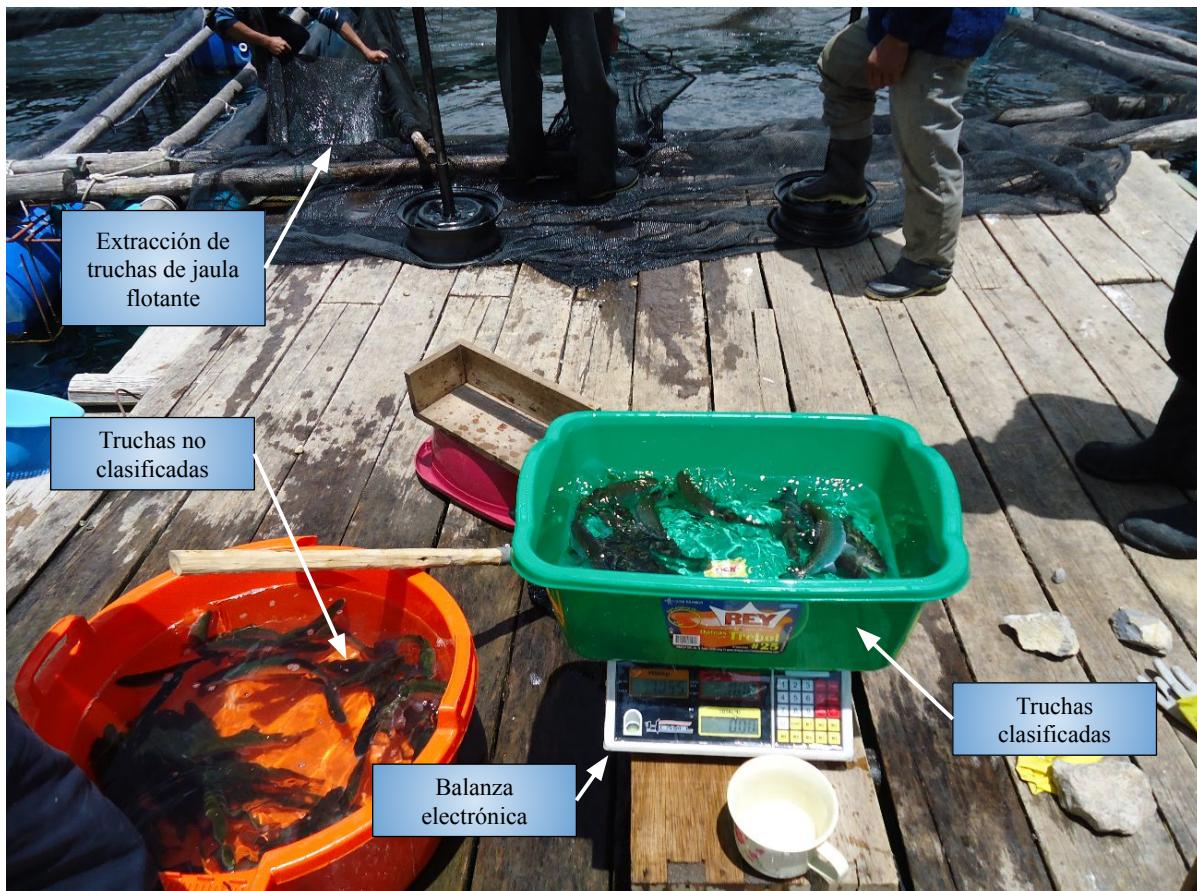


Figura 1.10: Clasificación, conteo, curado y cálculo de biomasa en la laguna de Canrash, Ancash, Perú.
Fuente: Elaboración propia.

Conteo por sensores

Este tipo de conteo se basa en el uso de sensores en general (láseres, ultrasonidos, presencia, capacitivos, entre otros). El contador que se muestra en la Figura 1.11 realiza un conteo mediante el uso de láseres infrarrojos que forman una *cortina*¹⁶. El pez en tránsito impide que el láser llegue al lado opuesto en el cual se recibe la luz en un sensor receptivo, generando así un control lógico sobre la presencia del pez. Con la finalidad de evitar mal conteo por superposición de los peces se suele tener un sistema que canaliza un pez a la vez que pase por el sistema contador.

¹⁶Llamada también barrera.

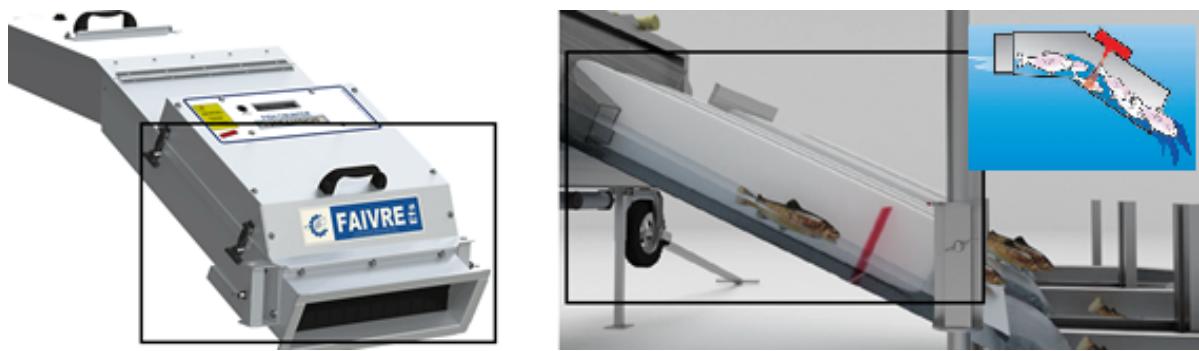


Figura 1.11: Contador de peces basado en luz infrarroja.

Fuente: (FAIVRE, 2013).

Conteo mediante visión por computadora

El proceso de conteo mediante visión por computadora se realiza a partir de una imagen capturada desde un plano específico como se muestra en la Figura 1.12. Dicha imagen se procesa para poder realizar una segmentación adecuada de la trucha y así poder contabilizarlas. El número de cámaras y las posiciones varían dependiendo de qué se busca.

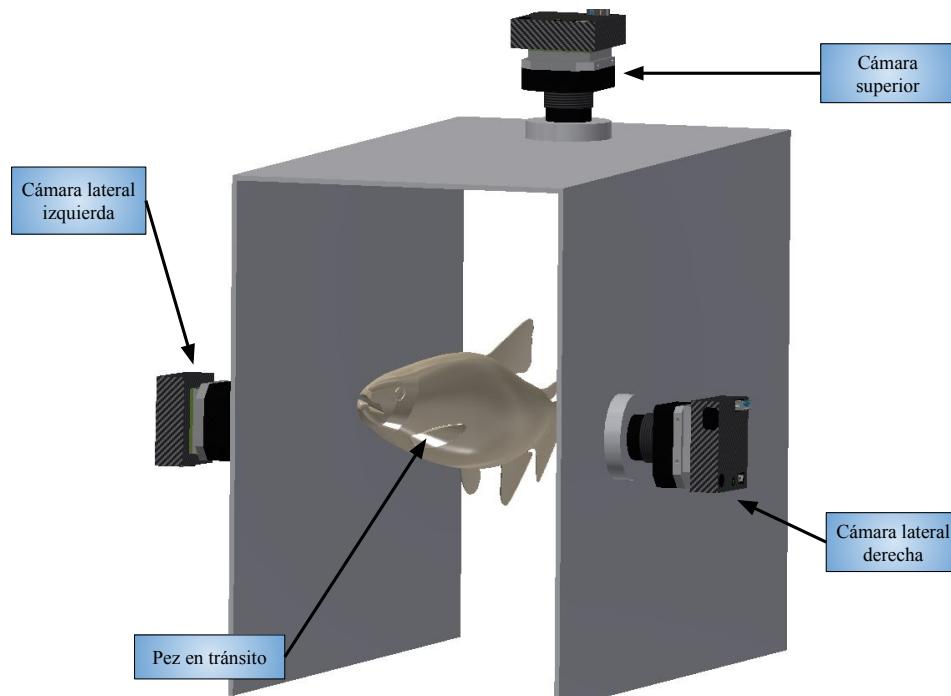


Figura 1.12: Planos comunes de posicionamiento para cámaras de inspección.

Fuente: Elaboración propia.

Conteo mixto

El conteo mixto¹⁷ se realiza usando imágenes, electrónica y software para aumentar la precisión del conteo. El fabricante afirma tener una alta precisión, sistema fácil de usar, sistema fácil de movilizar y en un tiempo corto. (AquaScan, 2015)

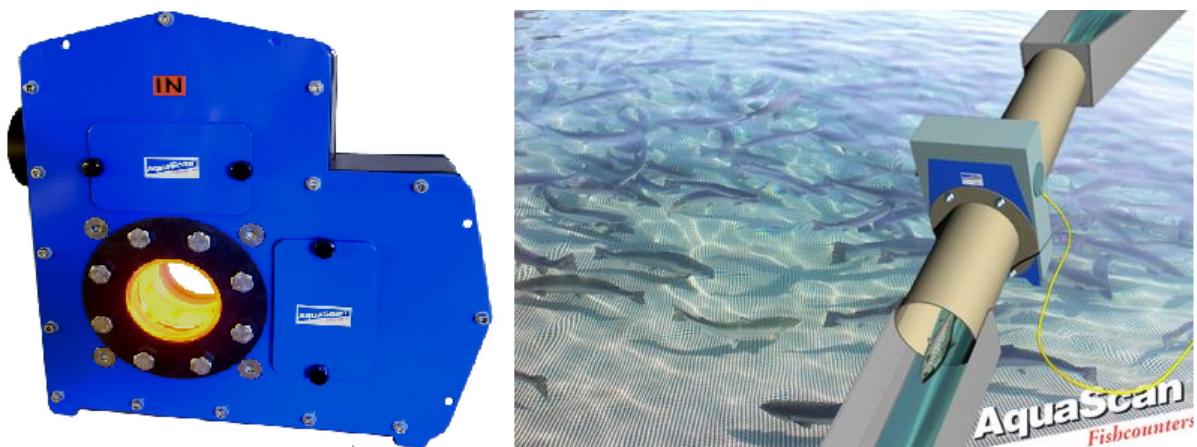


Figura 1.13: Contador de peces mediante escáneres.
Fuente: Elaboración propia.

Comparación

En la Tabla 1.4 desarrolla una comparación tanto cuantitativa como cualitativa de los métodos de conteo de peces. **La cantidad de peces por hora** se refiere a la cantidad de peces que puede contar en una hora. **El mantenimiento** se refiere a la frecuencia con la cual se inspecciona el funcionamiento correcto del método. **El costo de implementación y de funcionamiento** se refieren a los costos de diseño, implementación y de marcha. **La precisión** se refiere a la cantidad de peces correctamente contados en comparación con los que no fueron contados. La calificación “*bajo, medio, alto*” son juicios del autor, basándose en su experiencia.

¹⁷Método que emplea sensores y visión por computadora.

Cuadro 1.4: Comparación entre los métodos de conteo de peces.

Criterio\Método	Manual	Sensores	Visión por computadora	Mixto
Cantidad de peces por hora	120 (por operario)	95000	Según capacidad de cómputo	Según capacidad de cómputo
Mantenimiento	-	Semestral	Anual	Anual
Costo de implementación	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Costo de funcionamiento	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Precisión	Media	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

1.2.4. Extracción de características de peces

“La evaluación del comportamiento o fisiología de los peces cultivados siempre ha sido difícil debido al tiempo de muestreo, las diferencias entre las condiciones experimentales y el sesgo metodológico inherente. Sin embargo, los recientes avances en la tecnología de visión artificial¹⁸ han abierto posibilidades para observar mejor el comportamiento de los peces. Tal tecnología permite herramientas de inspección no destructivas, rápidas, económicas, consistentes y objetivas, mientras que proporcionando técnicas de evaluación basadas en el análisis y procesamiento de imágenes en una amplia variedad de aplicaciones” .(Niu y cols., 2018, p. 1)

Extracción mediante inspección visual

En el subíndice 1.2.2 se explica sobre el uso de herramientas para poder medir al pez. Mientras se toma la medida un profesional o técnico acuícola realiza una inspección visual para detectar enfermedades víricas, bacterianas o fúngicas visibles.

¹⁸Elsevier afirma que la tecnología de visión por computadora se considera existente desde 1973 hasta la fecha.

Extracción de características mediante visión por computadora

La empresa acuícola noruega *Cermaq Group AS* está planeando la implementación de un sistema de reconocimiento facial como parte de un proyecto de última tecnología llamada iFarm.(Daley, 2018) Este tipo de técnicas se recomienda para medianas y grandes empresas debido al alto costo de implementación y mantenimiento. Las principales ventajas, a diferencia de métodos tradicionales, son la personalización y seguimiento de cada pez analizado, es decir, se puede tener un reporte de vida de cada trucha. Esta innovación brinda una precisión muy alta ya que suele ser apoyada por algoritmos de inteligencia artificial que brindan robustez al sistema. Gracias al análisis personalizado se puede identificar los principales problemas que aquejan a los peces, a diferencia del análisis general que se realiza comúnmente. Según la empresa, este método disminuye la mortandad de 50% a 25% en todo el proceso de cultivo.

En la Figura 1.14 se ejemplifica el reporte.

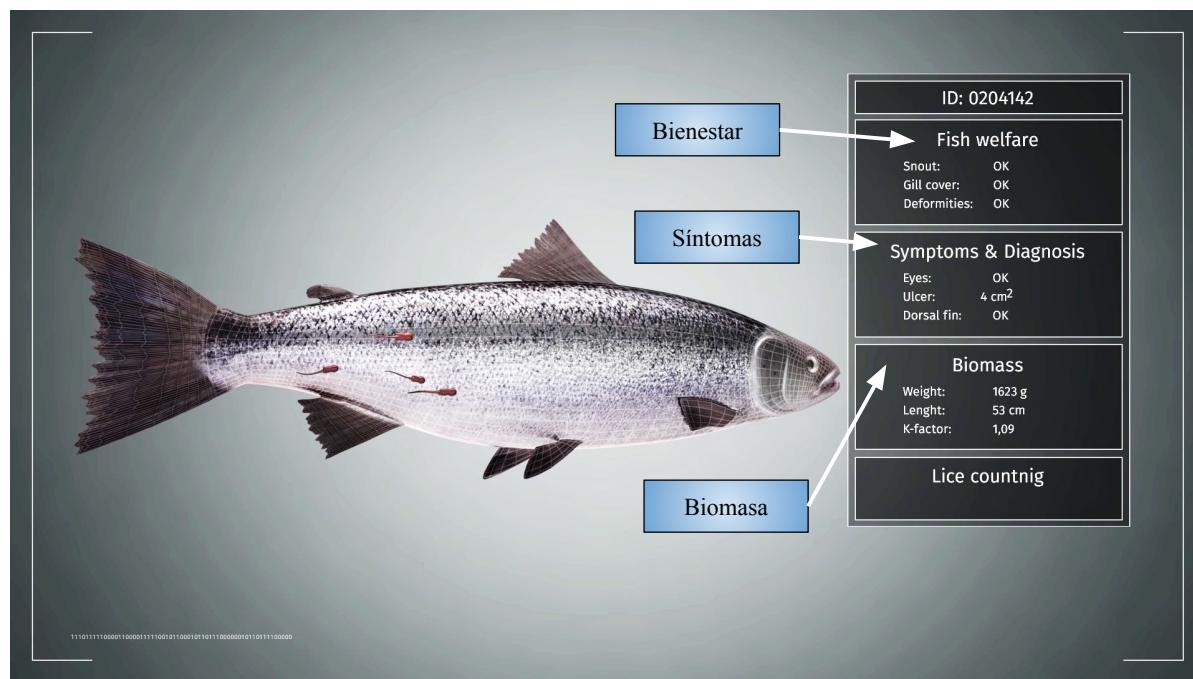


Figura 1.14: Extracción de características mediante visión por computadora.

Fuente: (Biosort, 2016)

Hao M. diseño un sistema de visión artificial que puede medir con precisión la longitud de

los peces, tiene dos tipos de funcionamiento del sistema. El primer tipo solo usa una imagen y posee una referencia para poder estimar la longitud del pez a través de la transformación de Hough (Figura 1.15). El segundo tipo usa más imágenes para realizar un modelo 3d, la investigación indica que el sistema funciona con precisión. (Niu y cols., 2018, p. 4-5)

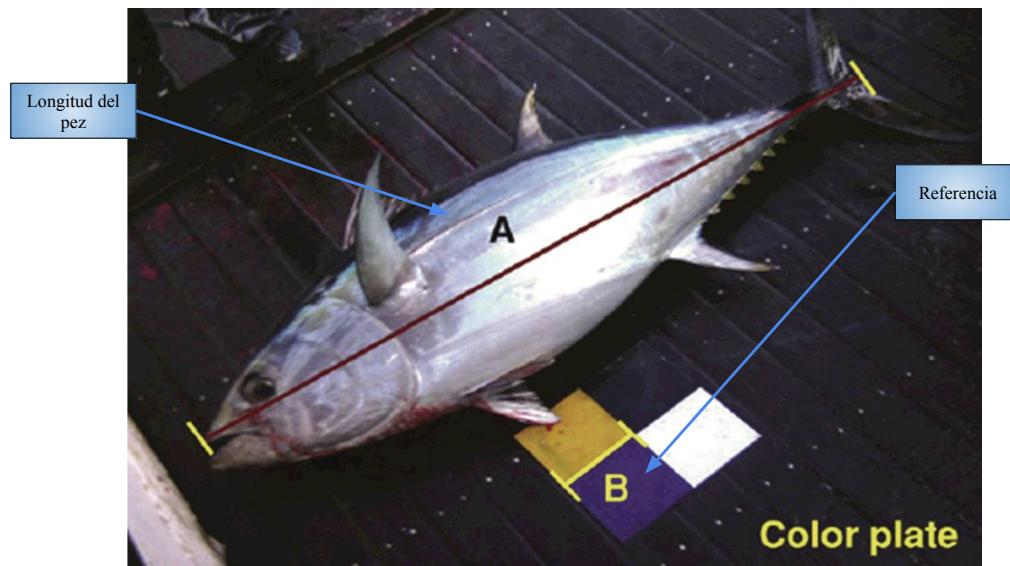


Figura 1.15: Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.
Fuente: (Hao, Yu, y Li, 2016)

1.2.5. Sistema de traslado de peces

El proceso de llevar un pez de un estanque o jaula flotante a un lugar específico se denomina traslado. Dicho traslado es necesario al momento de clasificar, contar y procesar en general al pez. Durante el cultivo de trucha esta práctica se repite con frecuencia, y en caso no fuera empleada de manera correcta el pez puede morir.

Traslado manual

Los operarios usan redes en un cabezal metálico en forma circular apoyados por un palo metálico o de madera para trasladar a las truchas¹⁹.

¹⁹También son llamadas sacaderas telescopicas.



Figura 1.16: Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.

Fuente: Seomusen vía Amazon.

Traslado automático

En la Figura 1.17 se muestra cómo se recepciona cómo se recepciona los peces en tránsito que están dentro de una tubería que son impulsadas por una corriente de agua, generada posiblemente por una bomba para peces²⁰.

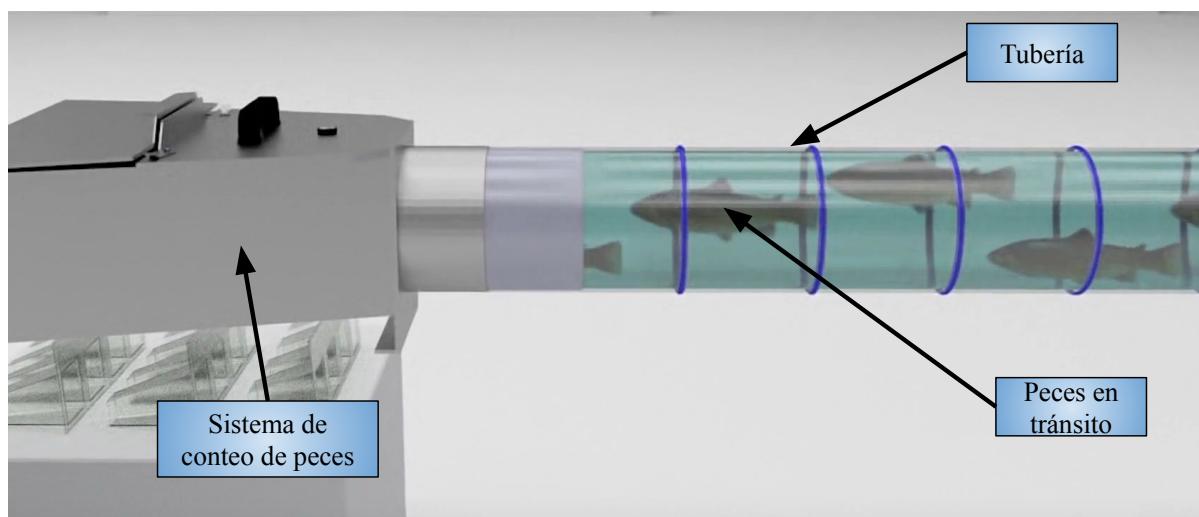


Figura 1.17: Recepción automática por bombeo de peces mediante tubería.

Fuente: Videos recopilados de FAIVRE

²⁰También llamada bomba "pin pin", realiza una función similar a una bomba centrífuga, pero con peces en lugar de solo agua.

Comparación

En la Tabla 1.5 desarrolla una comparación tanto cuantitativa como cualitativa de los métodos de conteo de peces. La **cantidad de peces por hora** se refiere a la cantidad de peces que puede transportar en una hora. El **mantenimiento** se refiere a la frecuencia con la cual se inspecciona el funcionamiento correcto del método. El **costo de implementación** y de **funcionamiento** se refieren a los costos de diseño, implementación y de marcha. La precisión se refiere a la cantidad de peces trasladados que no mueren. La calificación “*bajo, medio, alto*” son juicios del autor, basándose en su experiencia.

Cuadro 1.5: Comparación entre los métodos de traslado de peces.

Criterio\Método	Manual	Automático
Cantidad de peces por hora	360 aproximadamente (por operario)	20000
Mantenimiento	-	Semestral
Costo de implementación	Bajo	Alto
Costo de funcionamiento	Bajo	Alto
Precisión	Bajo	Medio

Fuente: Elaboración propia.

1.2.6. Productos comerciales y patentes

En el mercado internacional se distribuyen máquinas que realizan la clasificación, conteo o ambos de manera semiautomática y completamente automática.

Dispositivo de clasificación de peces y método de clasificación de peces (*Patente JP5563164B2*)

El control de la clasificación de los peces se realiza por límites de peso, es decir, se asigna dos límites en gramos y este dispositivo logra separar la entrada de peces en tres rangos. La máquina trabaja con peces vivos y permite, según los inventores, una clasificación rápida y precisa de un modo eficiente. La recepción de peces puede darse solo para un pez vivo a la vez. El compartimiento de clasificación mide 0.5 metros, llamado compartimento de pesa-

je. El ingreso de datos mediante una unidad de control que posee una interfaz de usuario y un dispositivo de memoria electrónica para ingresar y recepcionar datos. La invención, según los desarrolladores, es observar la diferencia de crecimiento comparando con anteriores clasificaciones para distribuirlos mejor en futuros estanques y controlar de una mejor manera la alimentación.(スフェン キュネン, 2010)

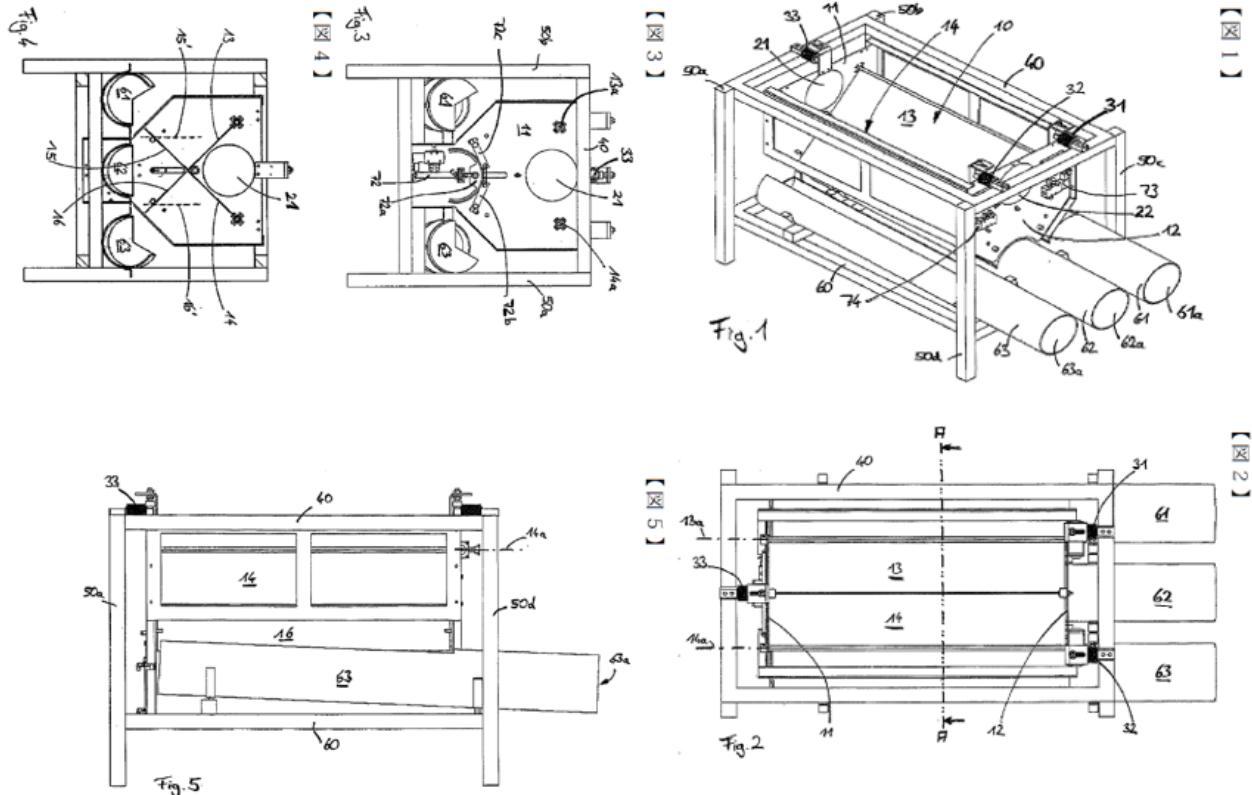


Figura 1.18: Clasificadora automática de peces de origen japonés.
Fuente: Patente JP5563164B2.

Clasificador completamente automático de pescado (Patente CN205180233U)

Este clasificador completamente automático incluye tres máquinas, la primera máquina elevadora, la segunda máquina elevadora y la tercera la niveladora. La salida de la primera máquina se encuentra en la parte superior de la entrada de la segunda máquina, la salida de la segunda máquina se encuentra en la parte superior de la entrada de la niveladora, conectado

de forma fija con la bomba de agua en la segunda máquina de elevación. La ducha se fija en el marco de la primera salida de la máquina de elevación. Esto rectifica y mejora perfectamente al clasificador de peces debido a la rotación del cilindro de surtido.(Fang y cols., 2015) El fabricante usa tambores de rotación, configuraciones de elevación de peces para enfriar por pulverizado al pescado, reducir la viscosidad con el objetivo de evitar lesiones por uso y desgaste. Además, usa rodillos giratorios para evitar la mala clasificación de los pescados. No se especifica cantidades o porcentaje de error del uso.

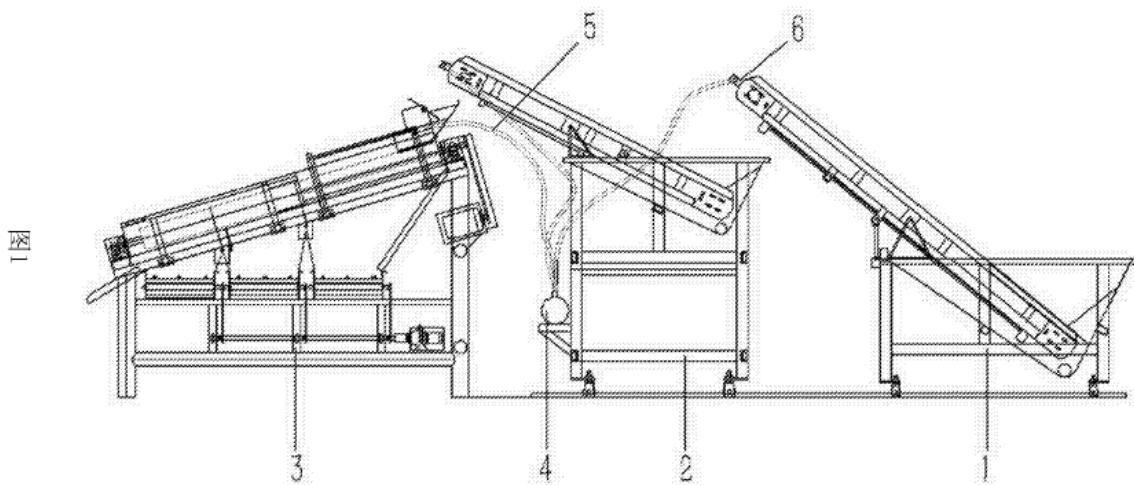


Figura 1.19: Clasificadora automática de peces de origen chino.

Fuente: Patente CN205180233U.

Clasificador y contador automático de peces (*Patente CN203884438U*)

Esta máquina comprende una máquina clasificadora automática y al menos una máquina contadora automática. La máquina de clasificación comprende un marco, las tuberías de salida de peces, cada máquina de conteo automático comprende un tanque de peces de conteo, un tubo de entrada de peces está dispuesto en un extremo de cada tanque de peces de conteo y cada tubo de cada salida de peces se comunica con la tubería de entrada de pescado correspondiente. El clasificador automático de peces tiene las ventajas de que los tamaños y las cantidades de peces se pueden distinguir con ayuda de las máquinas, por lo tanto, el tiempo de trabajo se

puede reducir, la eficiencia de trabajo se puede mejorar en gran medida, se puede garantizar la precisión de los daos y se puede evitar lesiones y aumentar la tasa de supervivencia de los peces al pasar por este proceso.(Jingwen, 2014) El inventor **no precisa** materiales de fabricación, cuantificación de la cantidad máxima de producción, porcentajes de error u otros puntos específicos.

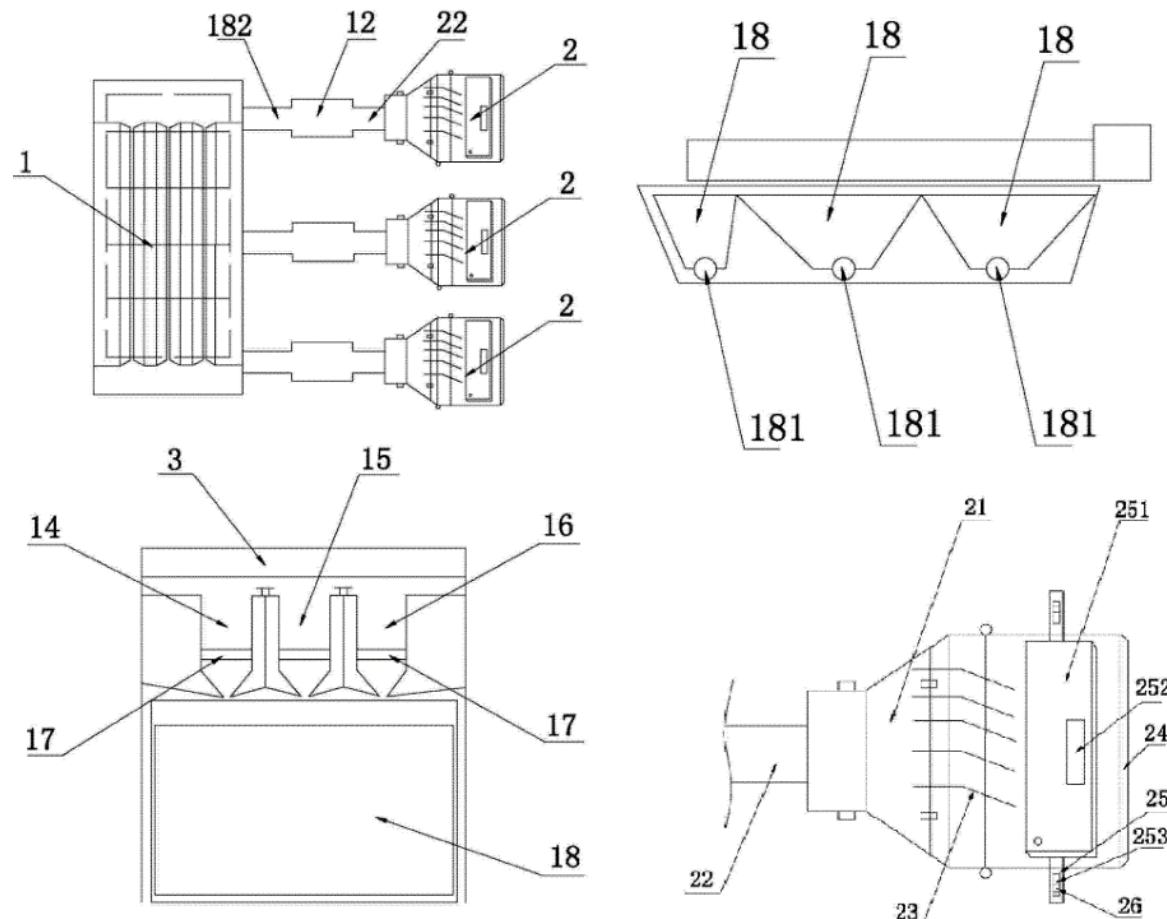


Figura 1.20: Clasificadora automática de peces de origen chino.

Fuente: Patente CN203884438U.

Selecciónadora completamente automática AGK

Según el fabricante, las ventajas de este sistema son la suavidad y principios de ajuste simples, construcción ligera, freno automático, suministro de agua simple, buena estabilidad, embudo de llenado extraíble. En cuanto a la clasificación: puede ser usada en truchas de 8

a 10, 10 a 20 y de 20 a 30 centímetros como rangos para clasificación. Las dimensiones de la seleccionadora son de 3500x1000x1180 milímetros. El peso de la máquina es de 150 kilogramos y tiene una potencia de 0.15 kW ya que hace uso cintas transportadoras y admite un suministro eléctrico de 220 y 380 VAC. Los materiales usados en la clasificadora son de acero galvanizado, acero inoxidable, aluminio y plástico.(AGK Aquakultur - Teich, 2010) Sin embargo, el fabricante menciona que la venta es solo para medianas y grandes empresas, según la normativa alemana.



Figura 1.21: Clasificadora de peces de origen alemán.

Fuente: AGK – Aquakultur-Teich.

Clasificador automático para peces *Helios*

La empresa FAIVRE comercializa la máquina clasificadora Helios 25 para truchas de 5 a 350 gramos (Figura 1.22) con capacidad para clasificar en 3 tamaños con 2 rieles de clasificación. La máquina está hecha de acero inoxidable AISI 304L o 316L de alta calidad (FAIVRE, 2019, p. 1). El funcionamiento se divide en tres etapas: primero el sistema de recepción y canalización recibe los peces mediante la conexión a una bomba de peces en funcionamiento y los envía al siguiente sistema de manera que no ingresen dos peces al mismo tiempo; segundo, los peces pasan por canales (Figura 1.23) impulsados por cadenas transportadoras en los laterales que poseen tiras de goma para trasladar hasta que se clasifique mecánicamente; tercero, luego de estar en la sección respectiva la trucha sale de la máquina mediante tuberías.



Figura 1.22: Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.

Fuente: Empresa acuícola FAIVRE.

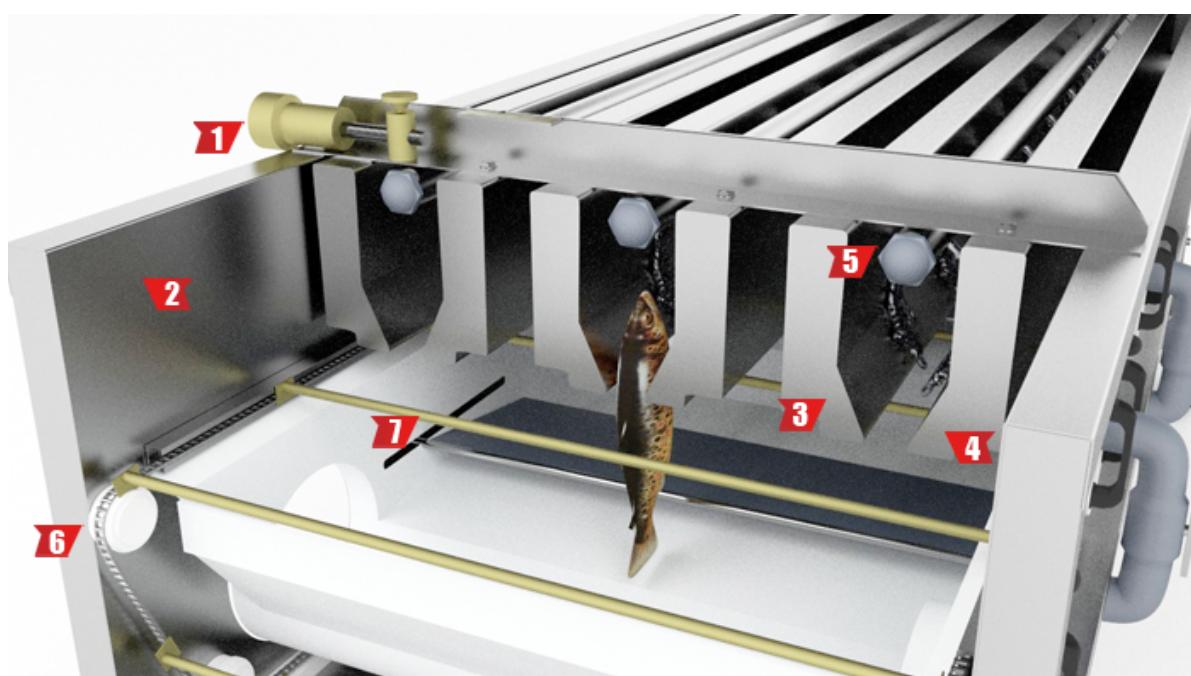


Figura 1.23: Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.

1. Configuración
2. Panel lateral
3. Panel ajustable
4. Panel fijo
5. Riego
6. Cadena transportadora
7. Tiras de goma

Fuente: (FAIVRE, 2018).

La empresa francesa cuenta con máquinas que pueden clasificar y posteriormente contar para saber la cantidad de peces que se están redistribuyendo como se visualiza en la Figura 1.24. En esta versión además incluye una interfaz de control más avanzada con más funciones.

Descripción del seleccionador :



Figura 1.24: Seleccionador con contador integrado y sus partes.

Fuente: FAIVRE.

Clasificador automático de peces y contador automático *Pentair V-100 00140*

Pentair se dedica al diseño y venta de máquinas acuícolas a pedido. La cotización de una clasificadora (*Pentair V-100 00140*) y contadora (*Pentair V-10007*) muestra precios elevados como se muestra en la Tabla 1.6. El diseñador y fabricante asegura tener una cercana a 97 %. La cotización implicó brindar datos: el estándar de suministro eléctrico peruano, el tipo de pez a contar (*trucha*), el rango de gramajes y la dirección de destino. Además, Pentair especificó

que las máquinas cotizadas funcionan como un sistema unido y que, si se empleaba otras marcas en ese sistema, la marca no se responsabilizaba por mal funcionamiento.

Cuadro 1.6: Extracto de cotización de máquinas clasificadora y contadora para peces.

Nº	Ítem	Detalles	Cantidad	Acordado	UM	Precio unitario	Precio total (\$)
2	V-10007 MACRO COUNTER, THREE/FOUR CHANNEL Vaki Macro 4 channel counter for fish from 0.2g up to 400g. Counts graded fish in up to 4 channels simultaneously.	-	1.0	1.0	EA	64 027.00	64 027.00
3	V-100 00140 GRADER 140CM DIAMETER Vaki 140cm rotary fish grader. Grades fish from 0.5g up to 200g in up to grades. Includes dewatering system and spray bar.	-	1.0	1.0	EA	53 567.00	53 567.00

Fuente: Pentair.

Clasificador de peces *Apollo*

Este tipo de clasificador suele ser destinado al uso industrial. El fabricante tiene diferentes máquinas con diferentes gramajes para clasificar (*1 a 650 g y 5 a 750 g*). Tiene cuatro de tres a cuatro salidas. Usa el suministro eléctrico estándar noruego (230/400 VAC 50Hz.). Realiza el conteo de hasta cuatro toneladas por hora cuando clasifica salmones de un rango específico (*300 a 400 g*). El sistema clasifica de forma similar al representado en la Figura REF. (Apollo, 2013)



Figura 1.25: Clasificadora de peces de origen danés.

Fuente: (Apollo, 2013)

Contador de peces *Pescavision*

Los contadores de peces mostrados en la Figura 1.26 funcionan bajo el mismo principio que sus clasificadores mostrados en incisos anteriores, es decir, mediante el uso de barreras de luz infrarroja. El fabricante asegura que los modelos *Pescavision50* y *Pescavision300* pueden llegar a tener una precisión total (100 %) y conforme aumenta sus capacidades de conteo aumenta también las dimensiones de la máquina y el gramaje mínimo que puede contar. A diferencia de otros sistemas estas máquinas sí son compatibles con el estándar de electricidad que se emplea en Perú.



Figura 1.26: (a,b,c) Contador Pescavision 100, Pescavision 300 y Pescavision 10x4.
Fuente: (FAIVRE, 2019)

Contador de peces *Calitri*

El contador de peces Calitri funciona tanto en agua dulce como salada, está diseñado para brindar una precisión del 97 % al momento de contar los peces, cuenta con di-versos modelos con diferentes números de canales de conteo (2, 4, 8 y 12 canales). La máquina puede recibir los peces de forma manual mediante la adaptación de una tolva a su entrada.(Calitri, 2018) Según el fabricante, el conteo se realiza mediante sensores que captan una señal que si es

bloqueada en momentos significa que hay un pez en medio.

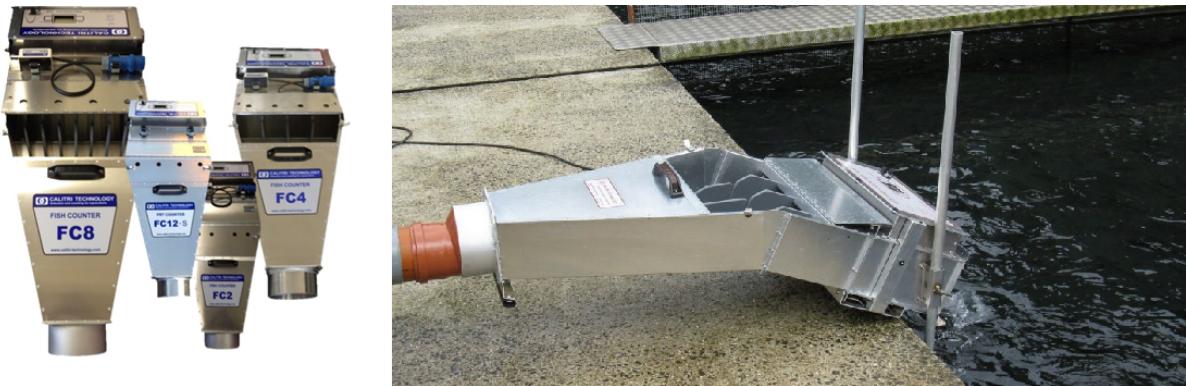


Figura 1.27: Contador de peces de origen belga.

Fuente: Calitri Technology.

Comparación

En la Tabla 1.7 se muestra la comparación entre máquinas clasificadoras²¹. El análisis para realizar esta comparación fue de forma cuantitativa y cualitativa a juicio del autor de este trabajo. La **compra** se refiere a la forma de adquisición del producto. El **rango** se refiere a los límites inferior y superior que la máquina asegura poder clasificar. Las **entradas** se refieren al número de sistemas de recepción de la máquina y **salidas** se refieren a la cantidad de rangos clasificados. La **capacidad por hora** es la cantidad máxima de peces que se pueden clasificar cada hora. El **suministro eléctrico** es la tensión eléctrica estándar que necesita, los productos internacionales usan diferentes niveles de tensión y frecuencia. La mínima **velocidad de entrada del caudal** es la velocidad mínima para que el sistema pueda clasificar correctamente. La **precisión** se calcula como la cantidad de peces correctamente clasificados dividido con la cantidad de peces incorrectamente clasificados. El **precio** no incluye cargos por envío o de impuestos.

²¹También llamadas seleccionadoras.

Cuadro 1.7: Comparación de clasificadores comerciales.

Criterio\Método	AGK	HELIOS 25 ²²	APOLLO	PENTAIR V-10000140 ²³
Compra	Depende del stock	Depende del stock	Depende del stock	A pedido ²⁴
Rango (g)	10 a 200	5 a 400	1 a 650 5 a 750	0.5 a 200
Entradas	1	1	1	1
Salidas	4	6	4	-
Capacidad por hora	70 000	95 000	95 000	-
Potencia	0.15 kW	0.37 kW	0.18 kW	-
RPM	-	-	900	-
Suministro eléctrico (V – Hz.)	220/380 VAC 50/60 Hz.	230 VAC 50/60 Hz.	230/400 VAC 50 Hz.	220/230 VAC 60 Hz.
Recepción de peces	Manual / Bombeo de peces	Manual / Bombeo de peces	Manual / Bombeo de peces	Bombeo de peces
Mínima velocidad de entrada de caudal (m^3/h)	-	40	Bombeo de peces	-
Dimensiones (cm) ²⁵	350x100x118	200x100x110 ²⁶	315x128x128 ²⁷	-
Peso (kg)	150	210	375	-
Precisión (%)	-	97	-	97
Precio (\$)	-	-	15 730	53 567

Fuente: AGK, Helios 25, Apollo, Pentair y Elaboración propia.

En la Tabla 1.8 se resume la comparación entre contadores de truchas comerciales. El análisis para realizar esta comparación fue de forma cuantitativa y cualitativa a juicio del autor de este trabajo.

²²También existe Helios 10, 30, 40, 50, 60 y 100. En el Anexo A2 se muestra las características de cada una.

²³Cotización a empresa Pentair en el Anexo A3.

²⁴Diseño y envío de 6 a 8 semanas luego de ordenar y realizar el pago. Las especificaciones se indican luego de diseñado el producto.

²⁵Las dimensiones de la máquina son de largo(*l*), ancho(*a*) y alto(*h*).

²⁶Altura ajustable de 110 a 140 cm.

²⁷Altura ajustable de 128 a 145 cm.

Cuadro 1.8: Comparación de contadores comerciales.

Criterio\Método	CALITRI FC4	PESCAVISION 50 ²⁸	PESCAVISION 300 ²⁹	PENTAIR V-10007 ³⁰
Compra	Depende del stock	Depende del stock	Depende del stock	A pedido
Rango (g)	50 a 900	5 a 4500	40 a 1000	0.2 a 4000
Canales de conteo	4	2	8	4
Capacidad por hora	95 000	95 000	165 000	-
Suministro eléctrico (V – Hz.)	90/220 VAC 50/60 Hz.	220 VAC 50/60 Hz. / 24 VDC	220 VAC 50-60 Hz.	220/230 VAC 60 Hz.
Recepción de peces	Manual / Bombeo de peces	Sistema de clasificación FAIVRE	Sistema de clasificación FAIVRE	Bombeo de peces
Mínima velocidad de entrada de caudal (m^3/h)	12	40	40	40
Dimensiones (cm) ³¹	125x50x35	150x50x60	200x150x100	-
Peso (kg)	18	20	375	-
Precisión (%)	97	98-100	98-100	97
Precio (\$)	5 705.37	-	-	64 027.00

Fuente: Calitri, FAIVRE, Pentair y Elaboración propia.

²⁸Folleto en el Anexo A2.

²⁹Folleto en el Anexo A2.

³⁰Cotización a empresa Pentair en el Anexo A3.

³¹Las dimensiones de la máquina son de largo(*l*), ancho(*a*) y alto(*h*).

Capítulo II

Fundamentos teóricos

2.1. Canales RGB y HSV

2.2. Segmentación de imágenes

2.3. Redes neuronales

2.4. Identificador mediante redes neuronales

Capítulo III

Diseño Mecatrónico

3.1. Desarrollo de proyecto conceptual

El diseño conceptual es parte del proceso de diseño en la que –mediante la identificación de problemas esenciales a través de la abstracción, el establecimiento de estructuras funcionales, búsqueda de principios de funcionamiento adecuados y su combinación en una estructura global– se establece a través de la elaboración de un principio de solución.(Pahl, Beitz, Feldhusen, y Grote, 2007, p. 159)

3.1.1. Lista de requerimientos

La lista de requerimientos (Tabla 3.1) se formuló mediante la realización de entrevistas (Anexo A1) en las cuales se recopilaron aspectos requerimientos implícitos y explícitos de calidad y cantidad que debe tener el sistema en general. Dicha entrevista se planteó con las recomendaciones que muestra el libro *Engineering Design*¹.

¹Engineering Design – A Systematic Approach.(Pahl y cols., 2007, p. 144-158)

Cuadro 3.1: Resumen de los requerimientos del sistema.

LISTA DE REQUERIMIENTOS			
PROYECTO	DISEÑO DE CLASIFICADORA Y CONTADORA DE TRUCHAS ARCOÍRIS (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) DE 10 A 20 CM. PARA LA CRIANZA DE TRUCHAS EN LA LAGUNA DE PAUCARCOCHA		Fecha: 2020-05-07 Página 1 de 1
Última modificación	D/E ²	Requerimientos	Reponsable
2019-09-24	E	<u>Función principal:</u> Clasificar y contar truchas arcoíris de 10 a 20 cm. en al menos 2 salidas y enviar un reporte de la clasificación y el conteo. <u>Geometría:</u> El sistema no debe exceder los 200x200x200 cm. <u>Fuerzas:</u> Pesar menos de 200 kg. <u>Energía:</u> Usará baterías DC. <u>Materiales:</u> La máquina debe enviar la información. <u>Señales:</u> Se debe enviar una señal en caso de fallo del sistema y pausar el proceso. <u>Hardware:</u> La máquina debe usar cámaras o dispositivos similares para obtener imágenes. <u>Software:</u> El sistema generará un reporte de la clasificación y conteo. <u>Costos:</u> El precio unitario menor a 10 mil dólares.	P.D.V.
		Última modificación: 2019-10-05	

²Deseo (D) y exigencia (E).

3.1.2. Caja negra

La caja negra mostrada en la Figura 3.1 representa la energía (flecha continua), materia (flecha gruesa) y señales (flecha discontinua) que necesita y brinda el sistema para funcionar como un sistema clasificador y contador de truchas de un determinado rango según la lista de requerimientos mostrada en la Tabla 3.1.

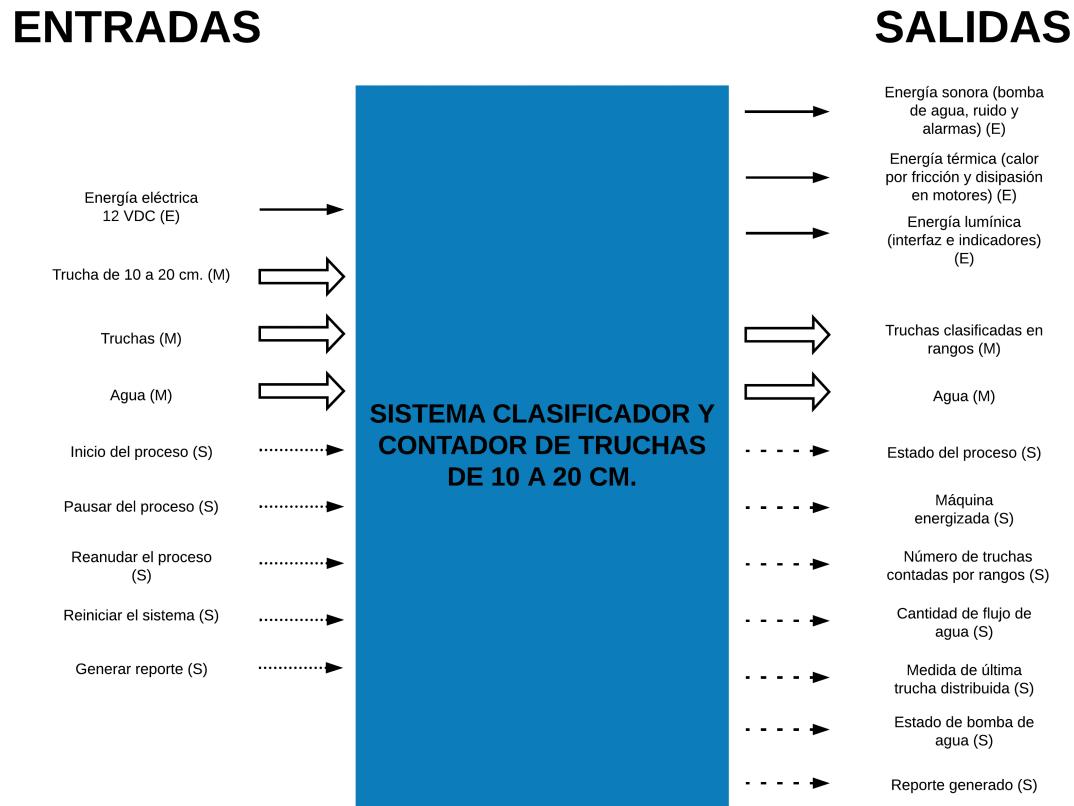


Figura 3.1: Caja negra del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Función principal

El sistema tiene como función principal clasificar truchas que provienen de un estanque o jaula flotante que tiene truchas que necesitan ser redistribuidas según sus dimensiones.

Entradas

El sistema tiene entradas de diversos tipos: energía, materia y señal. La entrada de energía es únicamente una batería de 12 VDC ya que es portable; Las entradas de materia son indispensablemente el agua y las truchas a clasificar; Las señales de entrada para este proceso son las básicas para cualquier proceso de este tipo (*iniciar, pausar, reanudar y reiniciar*), además la señal de generar un reporte para ser analizado y mantener control sobre el cultivo.

Salidas

De manera similar a las entradas, las salidas se dividen en energía, materia y señal: El sistema genera tres tipos de energía debido a los actuadores, ruido, alarmas, interfaz e indicadores; Las truchas divididas en hasta tres rangos salen de manera separada; Se muestra el estado del proceso, estado del sistema, número de truchas contadas dependiendo del rango, medida de la última trucha distribuida, estado de la bomba de agua y la señal de reporte generado.

3.1.3. Estructura de funciones

Una vez que se ha formulado la caja negra es posible indicar, con el uso de diagrama de bloques, expresar la relación entre entradas y salidas con una solución neutral. Esta relación debe tener la mayor precisión posible. La estructura de funciones global puede desglosarse en sistemas que a su vez se subdividen en funciones.(Pahl y cols., 2007, p. 169-181)

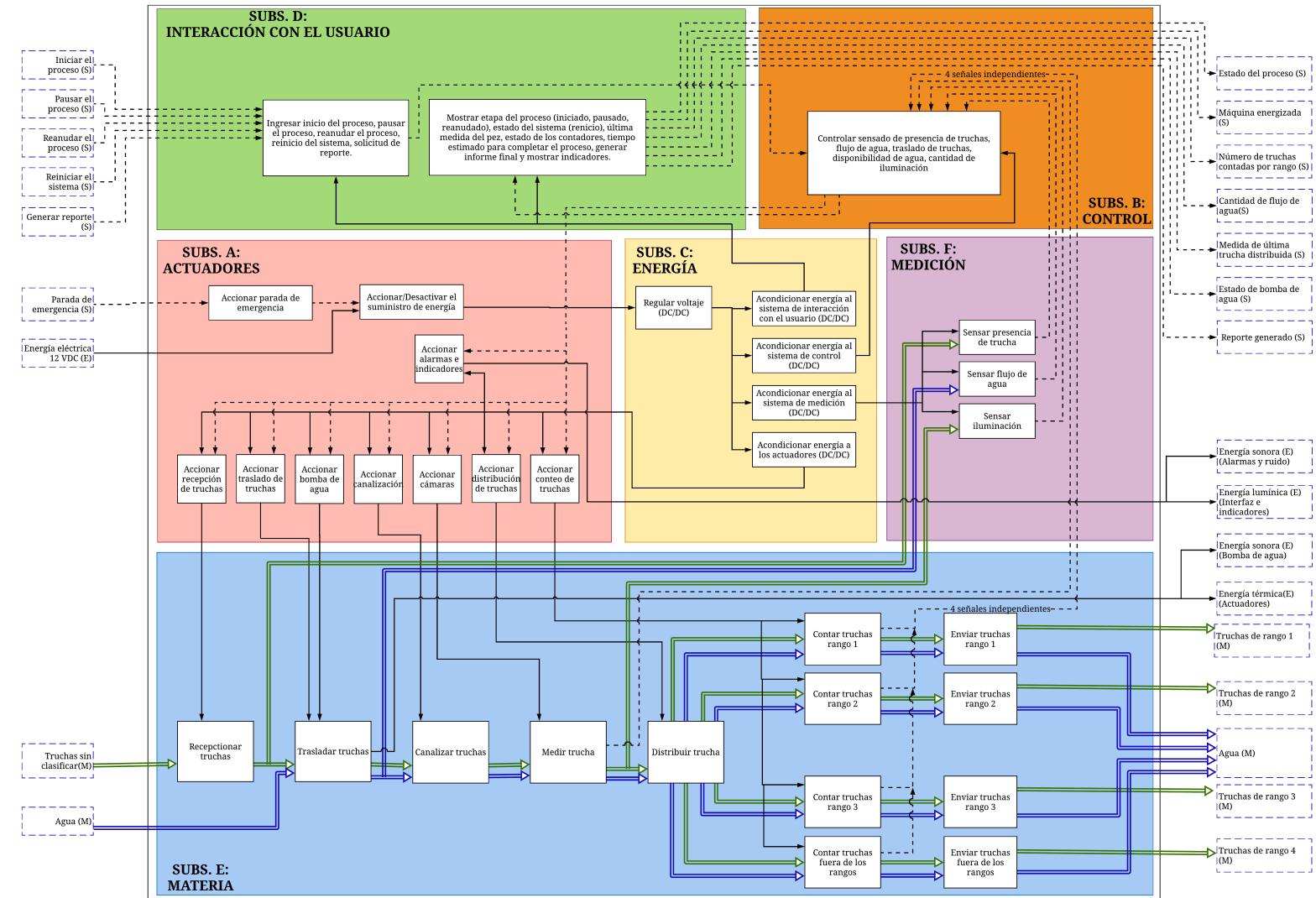


Figura 3.2: Estructura global de funciones.

Fuente: Elaboración propia.

Lista de funciones por subsistema

El sistema propuesto consta de seis subsistemas: actuadores, control, energía, interacción con el usuario, materia y medición. El propósito y funciones de cada subsistema se indica en las siguientes líneas.

1. Subsistema A: Actuadores

El subsistema integra el accionamiento de los mecanismos que transforman que permiten distribuir la materia en los rangos requeridos.

- A) **Accionar parada de emergencia:** Esta función permite conectar o desconectar físicamente la energía de en-trada del resto del sistema.
- B) **Accionar/Desactivar el suministro de energía:** Esta función se encargará de proveer energía al sistema para dar inicio al proceso al momento que recibe la señal de inicio.
- C) **Accionar recepción de truchas:** Esta función activa o desactiva la entrada de materia al sistema, en este caso el ingreso de truchas al sistema.
- D) **Accionar traslado de truchas:** Esta función activa o desactiva la función que recibe truchas y agua para poder desplazar a las truchas dentro del sistema.
- E) **Accionar bomba de agua:** Esta función activa, desactiva y regula el flujo de agua dentro del sistema.
- F) **Accionar iluminación:** Esta función activa o desactiva la iluminación necesaria para las cámaras.
- G) **Accionar cámaras:** Esta función activa, desactiva y prepara la adquisición de imágenes o video del sistema.
- H) **Accionar distribución de truchas:** Esta función se encarga de la distribución de las truchas según su rango dentro del sistema.

-
- I) **Accionar alarmas e indicadores:** Acciona las alarmas e indicadores del sistema para poder informar al operario de la situación del proceso.

2. Subsistema B: Control

El subsistema de control garantiza la precisión de los mecanismos, la calidad de los procesos, la seguridad del sistema.

- A) **Función general:** Esta función controla el sensado de presencia de trucha, flujo de agua, traslado de truchas, sensado de disponibilidad de agua y cantidad de iluminación.

3. Subsistema C: Energía

El subsistema de energía mantiene el funcionamiento continuo del sistema para realizar sus funciones características a través de una fuente de energía.

- A) **Regular voltaje (DC/DC):** Esta función acondiciona la energía de entrada (12 VDC) a la energía necesaria para el sistema.
- B) **Acondicionar energía al sistema de interacción con el usuario (DC/DC):** Esta función acondiciona la energía de entrada (12 VDC) a la energía necesaria para el sistema de interacción con el usuario.
- C) **Acondicionar energía al sistema de control (DC/DC):** Esta función acondiciona la energía de entrada (12 VDC) a la energía necesaria para el sistema de control.
- D) **Acondicionar energía al sistema de medición (DC/DC):** Esta función acondiciona la energía de entrada (12 VDC) a la energía necesaria para el sistema de medición.
- E) **Acondicionar energía a los actuadores (DC/DC):** Esta función acondiciona la energía de entrada (12 VDC) a la energía necesaria para el sistema de los actuadores.

4. Subsistema D: Interacción con el usuario

Este subsistema permite la comunicación entre el usuario final / operador y el sistema. Facilita la realización del proceso completo, permitiendo al usuario contar con información importante del proceso para poder tomar decisiones de forma rápida.

- A) **Función ingreso de señales:** Esta función recibe las señales de entrada como *inicio, pausar, reanudar y reiniciar* el proceso. Además, recibe la solicitud de reporte. Usa esta información y la envía al subsistema de control.
- B) **Función mostrar señales:** Esta función muestra las etapas del proceso (*iniciar, pausar, reanudar y reiniciar*). También muestra la medida de la última trucha que se distribuyó, estado de los contadores, tiempo estimado para completar el proceso, informe generado y mostrar indicadores.

5. Subsistema E: Materia

El subsistema de materia contiene las funciones que se encargan de distribuir la materia en rangos que se ingresan al sistema. Las funciones se desarrollan como una secuencia de tareas.

- A) **Recepcionar truchas:** Esta función mediante mecanismos recibe indicaciones de otras partes del sistema para accionarse. Es el primer módulo que recepciona a las truchas.
- B) **Trasladar truchas:** Este mecanismo recibe agua y a las truchas que salen de la función "*recepccionar truchas*". Impulsa mediante un flujo de agua constante a las truchas a lo largo del sistema hasta llegar a las salidas.
- C) **Canalizar truchas:** Este mecanismo recibe agua y truchas del módulo "*trasladar truchas*". Además, es accionado por actuadores para cumplir con dejar pasar una trucha por vez al siguiente módulo del sistema.

-
- D) **Medir y contar trucha:** Esta función ejecuta algoritmos para poder medir y contar una trucha, además decide qué camino tomará la trucha en el mecanismo de "*distribuir trucha*". Este mecanismo recibe señales de control y envía información sobre las dimensiones y conteo de las truchas al sistema de control.
- E) **Distribuir trucha:** Este mecanismo recibe agua y trucha medida del módulo anterior "*medir trucha*". Es accionada y permite seleccionar según los rangos el próximo módulo correspondiente. Este módulo es el encargado de clasificar físicamente a la trucha.

6. Subsistema F: Medición

El subsistema de medición se encarga de sensar las variables del proceso necesarias para ejercer un óptimo control del sistema y minimizar el error. Se considera las siguientes funciones como esenciales.

- A) **Sensar presencia de trucha:** Esta función detecta si las truchas han ingresado al sistema o siguen dentro del sistema.
- B) **Sensar flujo de agua:** Esta función mide el flujo de agua dentro del sistema para mantenerlo constante para reducir el estrés hídrico.
- C) **Sensar iluminación:** Esta función sensa la iluminación que es necesaria para capturar imágenes con normalidad.

3.1.4. Matriz morfológica

La matriz morfológica brinda posibles soluciones a los propósitos de cada función. Cada solución posee un principio de funcionamiento diferente. La búsqueda de posibles soluciones se basa en analizar las entradas/salidas de señales, energía y materia de cada función y proponer un dispositivo, mecanismo o sistema que pueda satisfacer la tarea.(Pahl y cols., 2007, p. 181-184)

3.1.5. Conceptos de solución

Los conceptos de solución que se presentan a continuación deben dar solución acorde a la problemática. En la Figura 3.3 se muestra un dibujo de dicha problemática.

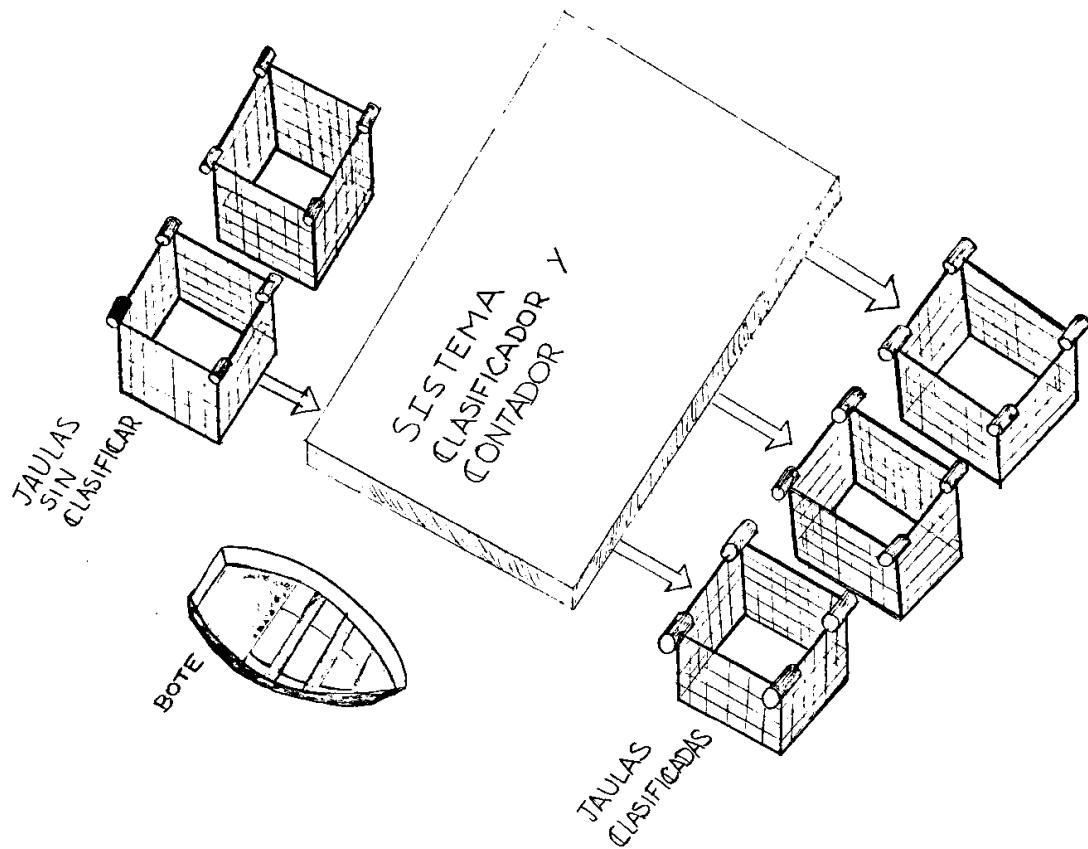


Figura 3.3: Dibujo conceptual de la problemática.

Fuente: Elaboración propia.

Concepto de solución N° 1

El sistema (Figura 3.4) hace uso de una plataforma flotante y una mesa como soporte para el sistema. En el dibujo se ha omitido los cilindros que mantienen a flote la plataforma. El sistema cuenta con cuatro sistemas físicos separados que son acoplados en la parte central de la mesa. Para iniciar el funcionamiento el operario debe verificar que el interruptor de seguridad se encuentra des-activado. Luego de verificar debe accionar mediante el uso de un

switch la energización del sistema y con esto accionar a su vez el flujo de agua debido a la activación de la bomba sumergible.

Una vez realizada la preparación del sistema la reja accionada mediante un motor que acciona el sistema piñón-cremallera debe dejar el paso de truchas al siguiente sistema físico. El operario debe extraer mediante una sacadera truchas de la jaula sin clasificar y depositarlas en el sistema físico de recepción. Las truchas avanzarán debido al flujo de agua constante y la gravedad. A continuación, las truchas pasan por un filtro de tamaño para evitar la conglomeración. En el siguiente sistema físico las truchas son medidas y contadas mediante el uso de cámaras, que a su vez usan sistemas de iluminación. Con la información adquirida, el sistema decide el direccionamiento de compuertas para que la trucha pueda salir por el canal adecuado, con el uso de cámaras verifica su correcto funcionamiento. El sistema puede ser desensamblado ya que se instala en una mesa hueca en el centro que permite el posicionamiento de esta, brindando así la posibilidad de cambios a cualquiera de las cuatro partes físicas.

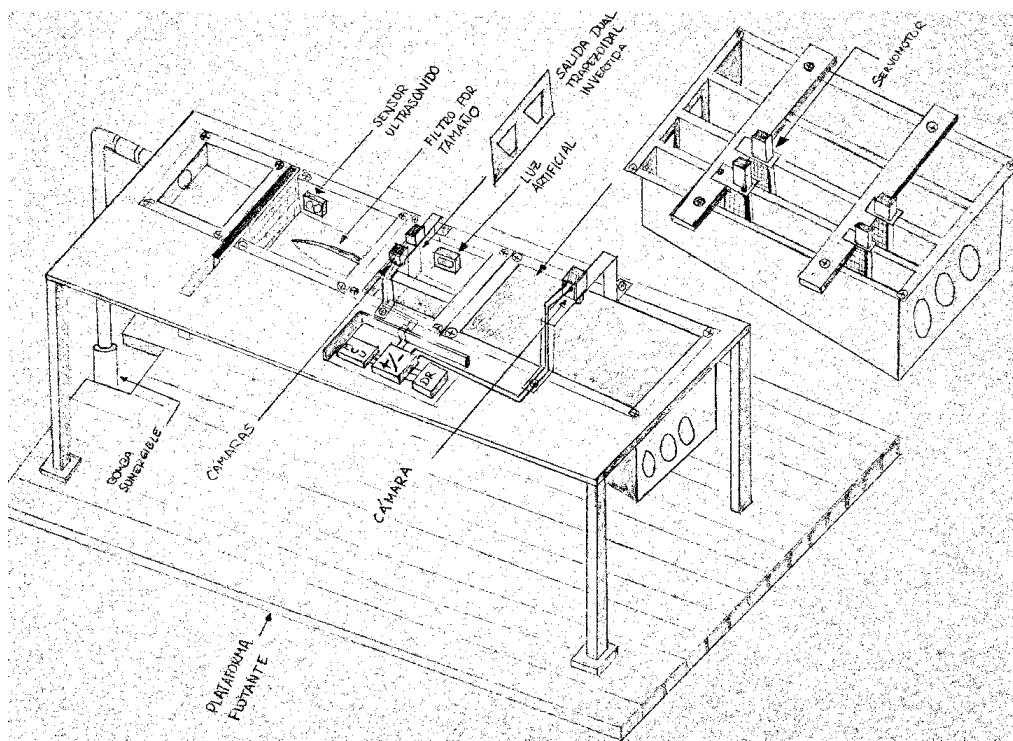


Figura 3.4: Dibujo de concepto de solución N° 1.

Fuente: Elaboración propia.

Concepto de solución N° 2

El sistema (Figura 3.5) cuenta con cuatro secciones físicas: recepción y traslado de peces", canalización, medición y conteo", "distribución y control". Estas secciones físicas están unidas con tubos plásticos transparentes y cables. Antes de empezar a usar el sistema, se debe verificar si el botón de emergencia está activado, de forma similar el actuador tipo hongo para verificar si el sistema está en accionamiento. Luego de revisar, se acciona la bomba sumergible y se acciona la electro-válvula para agregar el flujo de agua que trasladará a las truchas y verificar así la existencia de fugas.

Terminada la preparación, un operario con una sacadera empieza extrayendo truchas de una jaula sin clasificar y depositando las truchas en el sistema físico de recepción de truchas". Las truchas depositadas resbalan por la tolva y se trasladan hacia las tuberías de reducción que funcionan como canalizadores"(evita conglomeración). Estas tuberías de diámetro distinto permiten la medición del caudal para su control mediante el principio de Venturi, en este caso con el uso de sensores de presión. Además, la "detección de presencia de truchas" se da también en este sistema físico mediante sensores infrarrojos. Luego, la trucha es medida y contada por una cámara estéreo que indica al sistema físico de distribución la tubería de salida que la trucha debe tomar. La "distribución de truchas" emplea servomotores que direccionan la salida a la trucha a una salida. Para evitar la presión del agua sobre las compuertas controladas por los servomotores se emplea una rejilla para que el agua pase por una sección inferior. Durante todo el proceso, el microcontrolador envía inalámicamente a un teléfono inteligente datos sobre las dimensiones de la trucha y el conteo. Al finalizar el proceso, se muestra un resumen en el teléfono sobre la clasificación y conteo de truchas.

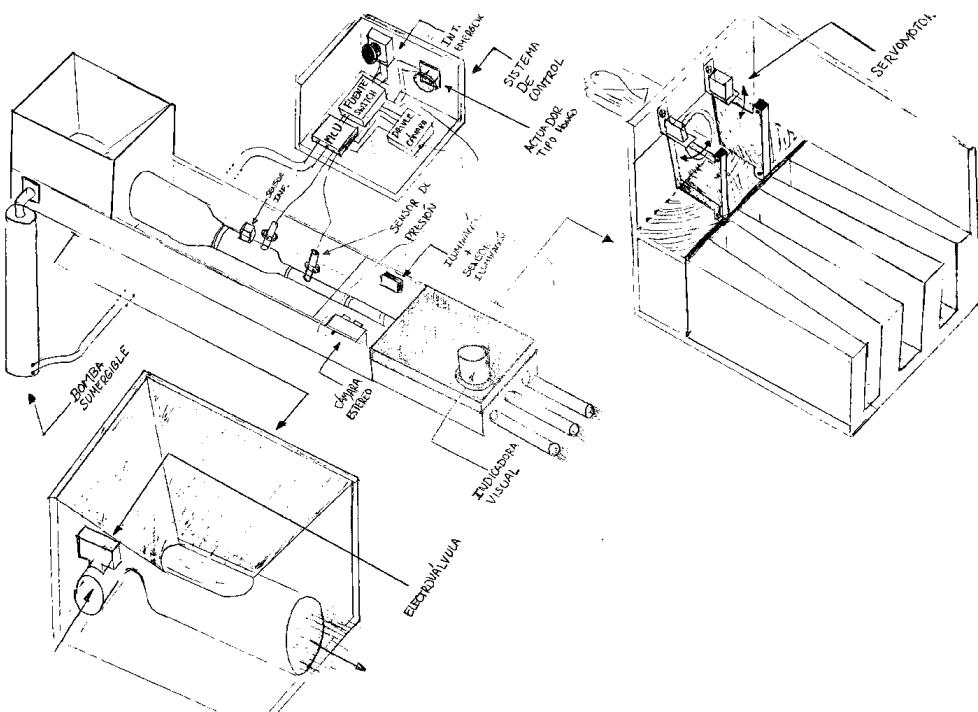


Figura 3.5: Dibujo de concepto de solución N° 2.

Fuente: Elaboración propia.

Concepto de solución N° 3

El tercer concepto de solución (Figura 3.6) hace uso de una plataforma flotante y una estructura como soporte para el sistema. En el dibujo se ha omitido los mecanismos que mantienen a flote a la plataforma. La preparación de este sistema la realiza un operario que revisa las tuberías y que no existan objetos que impidan el tránsito de las truchas. Primero el operario revisa si el botón de emergencia está activado, en caso contrario procede a encender el sistema mediante un interruptor posicionado en el sistema de control (parte lateral del sistema de recepción). Se conecta el teléfono inteligente de forma inalámbrica. El sistema realiza una prueba de los sensores para verificar un correcto funcionamiento. Luego de la verificación, mediante la aplicación se indica una cantidad de flujo deseada y el sistema se encarga de regularla.

Después, las truchas son depositadas por la parte superior en el sistema físico de recep-

ción" de tal forma que solo puede pasar una por vez. Debido a la gravedad las truchas descienderán por la tubería hasta una parte dónde se le agrega caudal al sistema mediante un codo tipo "griega" de tubería. A continuación, la trucha es medida y contada respecto a su clasificación. El sistema reporta a una aplicación móvil dicha información y controla las compuertas (Figura 3.7) para direccionar a la trucha a la salida correspondiente.

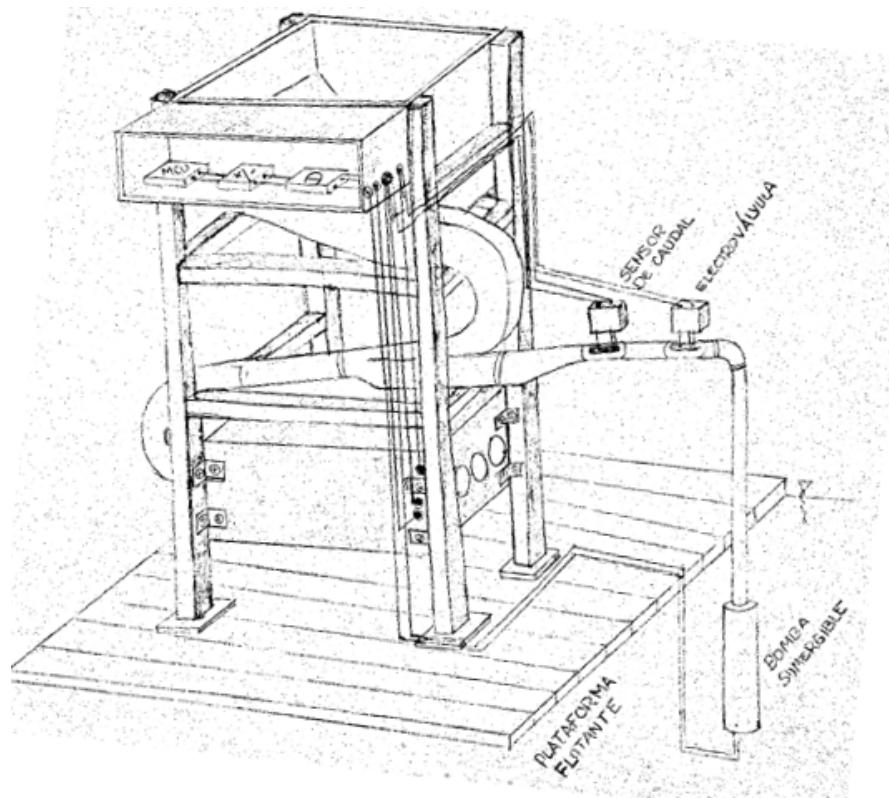


Figura 3.6: Dibujo de concepto de solución N° 3.

Fuente: Elaboración propia.

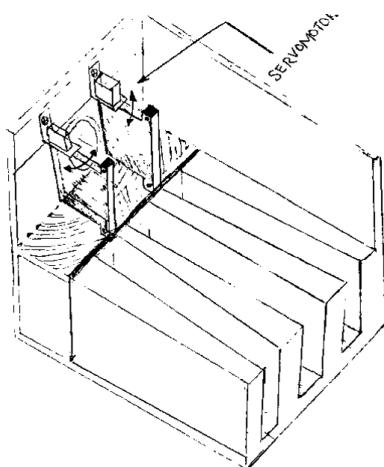


Figura 3.7: Dibujo de distribución de truchas.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Evaluación técnico-económica

La evaluación de los conceptos se realiza tomando en cuenta diferentes criterios tanto cuantitativos como cualitativos. En la tabla Tabla 3.2 se muestra la valoración y su significado.

Cuadro 3.2: Pesos de relevancia.

Valor (g)	Significado
4	Muy Importante
3	Importante
2	Indiferente
1	Poco Importante
0	Nada Importante

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, cada concepto de solución planteado recibe el respectivo puntaje que indica qué tanto cumple con cada criterio. El puntaje y su significado se muestra en la Tabla 3.3.

Cuadro 3.3: Escala de efectividad de las soluciones.

Valor (g)	Significado
4	Satisface completamente (Ideal)
3	Satisface bien
2	Satisface suficientemente
1	Satisface infinitamente
0	No satisface

Fuente: Elaboración propia.

Criterios técnicos

Los criterios técnicos escogidos para calificar el sistema son: **confiabilidad**, referido a alguna fuga de truchas en las tuberías o compartimientos que se puedan dar y que terminen liberando a la trucha al medio, **transportabilidad**, referido a la cantidad de pasos para poder ensamblar el sistema para poder usarlo y la dificultad de transportarlo de un lugar de almacenamiento hasta la jaula flotante en la situación mostrada en la Figura 3.3; **complejidad**, referido al número de componentes, sensores y actuadores que emplea el sistema para cumplir su función; **uso de energía**, referido al consumo eléctrico de los sensores y actuadores que emplea el sistema para cumplir su función; **dimensiones**, referido a las dimensiones físicas del sistema en general.

Cuadro 3.4: Evaluación de criterios técnicos.

Técnicos		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal		
Nº	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Confiabilidad	3	2	6	3	9	2	6	4	12
2	Transportabilidad	4	2	8	3	12	2	8	4	16
3	Complejidad	3	3	9	3	9	2	6	4	12
4	Uso de energía	2	1	2	3	6	2	4	4	8
5	Dimensiones	3	2	6	2	6	3	9	4	12
Suma		10	31	14	42	11	33	20	60	
Promedio ponderado		0.50	0.52	0.70	0.70	0.55	0.55	1.0	1.0	

Fuente: Elaboración propia.

Criterios económicos

Los criterios económicos escogidos para calificar el sistema son: **número de piezas**, referido a la cantidad de componentes electrónicos que emplea el concepto para cumplir las funciones; **costo de piezas**, referido al costo de adquisición de los componentes electrónicos y mecánicos; **productividad**, referido a la cantidad de truchas que puede procesar el sistema; **fácil montaje**, referido al tiempo que toma ensamblar el sistema para poder usarlo; **fácil adquisición**, referido a la existencia en stock de los materiales de fabricación para poder hacer el sistema.

Cuadro 3.5: Evaluación de criterios económicos.

Técnicos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
Nº	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Número de piezas	3	2	6	3	9	3	9	4	12
2	Costo de piezas	4	3	12	3	12	2	8	4	16
3	Productividad	3	3	9	2	6	2	6	4	12
4	Fácil montaje	2	2	4	3	6	2	4	4	8
5	Fácil adquisición	4	3	12	3	12	2	8	4	16
Suma			13	43	14	45	11	35	20	64
Promedio ponderado			0.65	0.67	0.70	0.71	0.55	0.54	1.0	1.0

Fuente: Elaboración propia.

Elección de concepto óptimo

Con los datos obtenidos en la Tabla 3.4 y Tabla 3.5 podemos hacer una comparación numérica de promedios ponderados de valoraciones según criterios establecidos. En la Figura 3.8 se muestra esta comparación en un gráfico de dispersión, en la que el eje vertical es el valor obtenido de cada solución en los criterios técnicos y en el caso del eje horizontal es el valor obtenido en cada solución en los criterios económicos.

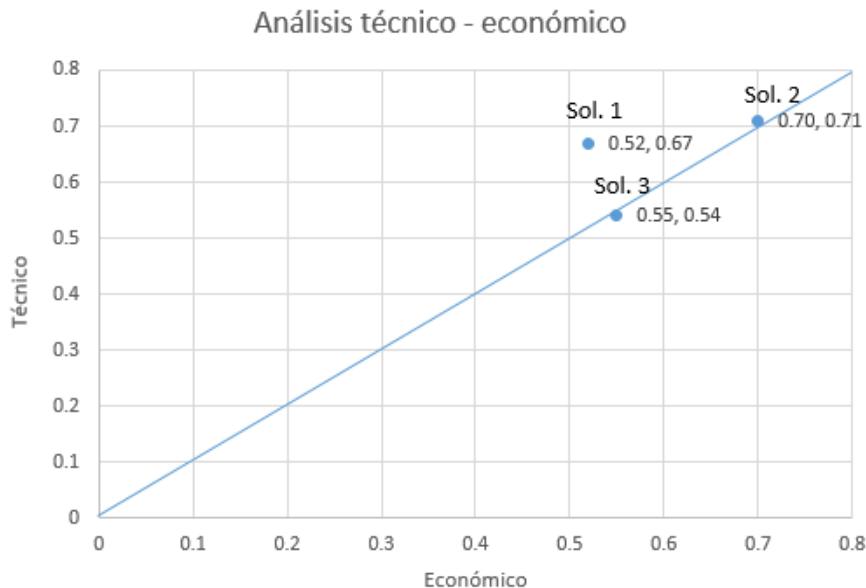


Figura 3.8: Análisis técnico económico.

Fuente: Elaboración propia.

El concepto de solución N° 2 obtuvo un puntaje superior a las otras dos alternativas. Además, muestra un equilibrio entre la valoración técnica y económica. Por lo que se escoge este concepto de solución como solución óptima.

3.1.7. Diagrama de operaciones de solución escogida

El diagrama de operaciones muestra la secuencia de pasos para poder operar la máquina o sistema de forma adecuada en un funcionamiento normal. En la Figura 3.9 se muestra el diagrama de operaciones como un diagrama de flujo para poder usar adecuadamente el sistema clasificador y contador de peces.

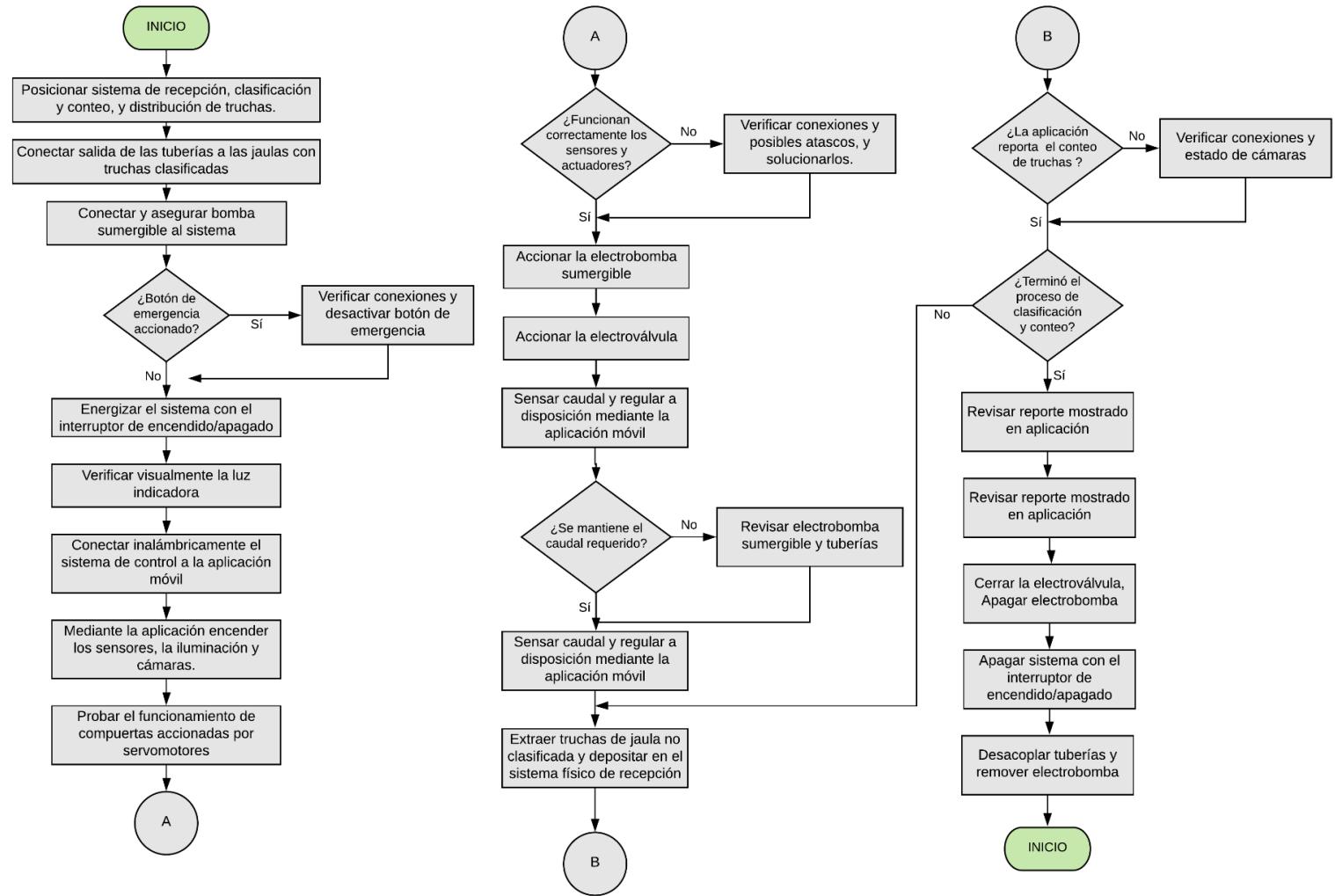


Figura 3.9: Estructura global de funciones.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo IV

Costos

4.1. Manufactura

4.2. Precio unitario

Referencias

- 沈蓓杰, 章星明, 孙德祥, 李正荣, 许世富, 俞爱萍, ... 芮金兵 (2017). *Método de cría integrado para la trucha de esturión y la trucha arco iris.* Descargado de <https://patents.google.com/patent/CN107258625A/en?oq=trout&q=farming>
- 利岡本高瀬, . (2005). *Reared rainbow trout, breeding by methods and a method for cultivation or farming, aquaculture or farmed been rainbow trout.* Descargado de <https://patents.google.com/patent/JP4468278B2/en?oq=trout&q=farming>
- スフエン キュネン. (2010). *Fish classification device and fish classification method.* Descargado de <https://patents.google.com/patent/JP5563164B2/en?oq=JP5563164B2>
- AGK Aquakultur - Teich. (2010). *Vollautomatische Sortiermaschine.* Descargado de <https://www.agk-kronawitter.de/shop/Aquakultur-Teich/Sortiergeraete/Sortiermaschine/Vollautomatische-Sortiermaschine.html>
- Al-Jubouri, Q., Al-Nuaimy, W., Al-Taee, M., y Young, I. (2017). Towards automated length-estimation of free-swimming fish using machine vision. *2017 14th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2017, 2017-Janua*, 469–474. doi: 10.1109/SSD.2017.8166931
- Andina. (2019). *Sector acuícola peruano conquistará nuevos mercados de exportación.* Descargado 2019-09-20, de <https://andina.pe/agencia/noticia-sector-acuicola>

-
- peruano-conquistara-nuevos-mercados-exportacion-759533.aspx
- Apollo. (2013). *Apollo – Fish grader.*
- AquaScan. (2015). *AquaScan Registration Unit CSF1600.* Descargado de <http://www.aquascan.com/event/dolink/famid/347548>
- Biosort. (2016). *iFarm - Individualized aquaculture.* Descargado 2019-09-21, de <https://www.youtube.com/watch?v=JsGPwjEIEio>
- Calitri. (2018). *Calitri Technology Fish Counters.* Descargado 2019-09-25, de <https://pentairaes.com/calitri-fish-counters.html>
- Daley, J. (2018). *How Fish Farms Can Use Facial Recognition to Survey Sick Salmon.* Descargado 2019-09-23, de <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/facial-recognition-will-be-used-monitor-fish-faces-180970493/>
- FAIVRE. (2013). *Fish counter Pescavision.* Autor. Descargado de <http://www.faivre.fr/index.php/en/products/fish-counters/en-pescavision-counter/19-en-produits/109-en-counter-p30>
- FAIVRE. (2018). *Principle of the SPS technology.* Descargado 2019-09-23, de <http://www.faivre.fr/index.php/en/products/fish-graders/19-en-produits/183-en-fish-grader-sps>
- FAIVRE. (2019). *Seleccionadores automáticos.* Autor. Descargado de <http://www.faivre.fr/index.php/en/products/fish-graders/fish-grader-helios-25>
- Fang, J., Zhu, J., Meng, L., Zhao, B., Liang, Y., y Shao, L. (2015). *Full -automatic fish grader.* Descargado de <https://patents.google.com/patent/CN205180233U/en?oq=CN205180233U>
- FAO. (2005). *Clasificacion Por Tamaño De Los Peces.* Descargado de http://www.fao.org/fishery/static/FAO{_}Training/FAO{_}Training/General/x6709s/x6709s12.htm{\#}top
- FAO. (2014). Manual Práctico para el Cultivo de la Trucha Arcoíris. *FAO Fisheries and*

-
- Aquaculture*, 44. Descargado de <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>
- FAO. (2017). *Statistics Fisheries and Aquaculture Statistics Statistiques Des Pêches*. doi: 10.1109/BMEI.2010.5639447
- Flores, J. M. M., Quispe, M. Á. Y., Flores, A. Q., Arias, L. G., Quispe, W. P., Sairitupa, J. C. C., ... Condori, E. M. (2010). Mejorando la rentabilidad de la truchicultura en el lago titicaca con vision empresarial y responsabilidad social ambiental. *Módulo de buenas prácticas en la producción de trucha*, 39. Descargado de <http://www.labor.org.pe/descargas/modulo\buenas\practicas\produccion\truchicola\puno\2010.pdf>
- FONDEPES. (2014). *Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales*. Descargado de <https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL\TRUCHA.pdf>
- Guevara Patiño, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos? *Folios*, 1(44), 165–179. doi: 10.17227/01234870.44folios165.179
- Hao, M., Yu, H., y Li, D. (2016). The Measurement of Fish Size by Machine Vision - A Review. En (pp. 15–32). Descargado de http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-48354-2_2 doi: 10.1007/978-3-319-48354-2_2
- Jingwen, Z. (2014). *Automatic fish grader*. Descargado de <https://patents.google.com/patent/CN203884438U/en?q=CN203884438U>
- Martinez, J. (2003). Referencias Documentales Bajo El Sistema “ Harvard ” . Descargado de <http://www.tesispsico.unlugar.com/mat\catedra/investig\documental.pdf>
- MINAGRI. (2011). *Hidrobiológico*. Descargado 2019-09-20, de <https://www.minagri.gob.pe/portal/41-sectoragrario/recursos-naturales/320-hidrobiologico>
- Ministerio de la Producción del Perú. (2018). *Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola 2017*

-
- (Inf. Téc.). Lima. Descargado de <http://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/shortcode/oee-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/825-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2017>
- Niu, B., Li, G., Peng, F., Wu, J., Zhang, L., y Li, Z. (2018). Survey of Fish Behavior Analysis by Computer Vision. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 09(05). doi: 10.4172/2155-9546.1000534
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., y Grote, K.-H. (2007). *Engineering Design* (3.^a ed.). London: Springer London. Descargado de <http://link.springer.com/10.1007/978-1-84628-319-2> doi: 10.1007/978-1-84628-319-2
- Powell, K. (2003, nov). Eat your veg. *Nature*, 426(6965), 378–379. Descargado de <https://www.nature.com/articles/426378a> http://www.nature.com/articles/426378a doi: 10.1038/426378a
- Seafood Trade Intelligence Portal. (2018). *Trout in Peru*. Descargado 2019-09-05, de <https://seafood-tip.com/sourcing-intelligence/countries/peru/trout/>
- Varalakshmi, P., y J, J. L. R. (2019). Recognition Of Fish Categories Using Deep Learning Technique. *2019 3rd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT)*, 168–172.
- Vega, A. (2013). *Diseño de una Máquina seleccionadora de Truchas* (Tesis Doctoral no publicada).
- White, D., Svellingen, C., y Strachan, N. (2006, sep). Automated measurement of species and length of fish by computer vision. *Fisheries Research*, 80(2-3), 203–210. Descargado de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165783606001512> doi: 10.1016/j.fishres.2006.04.009

Anexo