

PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO CONCEPTUAL DE CLASIFICADORA Y CONTADORA
DE TRUCHAS ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) DE 15 A 20 CM.
PARA LA CRIANZA DE TRUCHAS EN LA LAGUNA DE PAU-
CARCOCHA

Tesis para optar por el título profesional de
bachiller de Ingeniería Mecatrónica

Presenta:

Pablo Remigio Díaz Vergara

Asesor:

Ing. Pedro Moises Crisóstomo Romero

Lima, agosto del 2019

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO PROBLEMÁTICO.....	2
1.1. Definición de la problemática.....	2
1.1.1. Justificación	2
1.1.2. Alcance.....	2
1.1.3. Objetivos	3
1.1.3.1. Objetivo general	3
1.1.3.2. Objetivos específicos	3
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	4
1.2.2.1. Clasificación manual.....	5
1.2.2.2. Clasificación mecánica.....	6
1.2.2.3. Clasificación mediante visión por computadora	7
1.2.2.4. Clasificación usando técnicas de inteligencia artificial.....	8
1.2.2.5. Comparación	8
1.2.3. Sistema de conteo de peces	9
1.2.3.1. Conteo manual	9
1.2.3.2. Conteo por sensores	10
1.2.3.3. Conteo mediante visión por computadora	10
1.2.3.4. Conteo mixto.....	11
1.2.3.5. Comparación	11
1.2.4. Extracción de características de peces	11
1.2.4.1. Extracción mediante inspección visual	12
1.2.4.2. Extracción de características mediante visión por computadora	12
1.2.5. Sistema de traslado de peces	13
1.2.5.1. Traslado manual	13
1.2.5.2. Traslado automático	13
1.2.5.3. Comparación	14
1.2.6. Productos comerciales y patentes	14
1.2.6.1. Dispositivo de clasificación de peces y método de clasificación de peces (Patente JP5563164B2)	14
1.2.6.2. Clasificador completamente automático de pescado (Patente CN205180233U) 15	
1.2.6.3. Clasificador y contador automático de peces (Patente CN203884438U) 16	
1.2.6.4. Seleccionadora completamente automática AGK.....	16
1.2.6.5. Clasificador automático para peces Helios	17
1.2.6.6. Clasificador automático de peces y contador automático Pentair V-100 00140 19	
1.2.6.7. Clasificador de peces Apollo.....	19
1.2.6.8. Contador de peces Pescavision	19
1.2.6.9. Contador de peces Calitri	20
1.2.6.10. Comparación	21
2. DISEÑO MECATRÓNICO CONCEPTUAL.....	23
2.1. Desarrollo de proyecto conceptual.....	23
2.1.1. Lista de requerimientos	23
2.1.2. Caja negra	24

2.1.2.1. Función principal.....	24
2.1.2.2. Entradas	24
2.1.2.3. Salidas	24
2.1.3. Estructura de funciones	24
2.1.3.1. Lista de funciones por subsistema	26
2.1.3.1.1. Subsistema A: Actuadores	26
2.1.3.1.2. Subsistema B: Control	26
2.1.3.1.3. Subsistema C: Energía	26
2.1.3.1.4. Subsistema D: Interacción con el usuario.....	27
2.1.3.1.5. Subsistema E: Materia	27
2.1.3.1.6. Subsistema F: Medición	28
2.1.4. Matriz morfológica.....	29
2.1.5. Concepto de solución	35
2.1.5.1. Concepto de solución N° 1	35
2.1.5.2. Concepto de solución N° 2	36
2.1.5.3. Concepto de solución N° 3	37
2.1.6. Evaluación técnico-económica	39
2.1.6.1. Criterios técnicos	39
2.1.6.2. Criterios económicos.....	39
2.1.6.3. Elección del concepto óptimo	40
2.1.7. Diagrama de operaciones de solución seleccionada	40
 CONCLUSIONES	 44
 BIBLIOGRAFÍA	 45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de truchas por etapas de producción.....	4
Tabla 2: Comparación entre los métodos de clasificación.	9
Tabla 3: Comparación entre los métodos de conteo de peces.	11
Tabla 4: Comparación entre los métodos de traslado de peces.	14
Tabla 5: Comparación de clasificadores comerciales.....	21
Tabla 6: Comparación de contadores comerciales.	22
Tabla 7: Resumen de los requerimientos del sistema.	23
Tabla 8: Matriz morfológica subsistema A-1	29
Tabla 9: Matriz morfológica subsistema A-2	30
Tabla 10: Matriz morfológica subsistema B.....	31
Tabla 11: Matriz morfológica subsistema C	31
Tabla 12: Matriz morfológica subsistema D	32
Tabla 13: Matriz morfológica subsistema E.....	33
Tabla 14: Matriz morfológica subsistema F	34
Tabla 15: Pesos de relevancia.	39
Tabla 16: Escala de efectividad de las soluciones.	39
Tabla 17: Evaluación de criterios técnicos	39
Tabla 18:Evaluación de criterios económicos	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Anatomía de la trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	4
Figura 2: (a,b,c) Clasificadora de anchura fija, rejillas de clasificación y clasificadora ajustable.	5
Figura 3: Clasificación y medición manual de truchas.	6
Figura 4: Herramienta de medición manual para peces.	6
Figura 5: Máquina seleccionadora de truchas de A. G. V.	7
Figura 6: (a,c,f) Imagen original, 100 puntos de borde y enmallado.	7
Figura 7: Medición de peces dentro de estanques con cámaras ortogonales y estéreo.	8
Figura 8: Pez identificado por una red neuronal.	8
Figura 9: Clasificación, conteo, curado y cálculo de biomasa en la laguna de Canrash - Ancash - Perú.	9
Figura 10: Contador de peces basados en luz infrarroja.	10
Figura 11: Planos comunes de posicionamiento para cámaras de inspección.	10
Figura 12: Contador de peces mediante escáneres.	11
Figura 13: Extracción de características mediante visión por computadora.	12
Figura 14: Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.	13
Figura 15: Sacadera telescópica de malla fina para peces.	13
Figura 16: Recepción automática por bombeo de peces mediante tubería.	14
Figura 17: Clasificadora automática de peces de origen japonés.	15
Figura 18: Clasificadora automática de peces de origen chino.	15
Figura 19: Clasificador y contador de peces de origen chino.	16
Figura 20: Clasificadora de peces de origen alemán.	17
Figura 21: Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.	17
Figura 22: Sistema de canalización de peces.	18
Figura 23: Seleccionador con contador integrado y sus partes.	18
Figura 24: Extracto de cotización de máquinas clasificadora y contadora para peces.	19
Figura 25: Clasificadora de peces de origen danés.	19
Figura 26: (a,b,c) Contador Pescavision 100, Pescavision 300 y Pescavision 10x4	20
Figura 27: Contador de peces de origen belga.	20
Figura 28: Caja negra del sistema.	24
Figura 29: Estructura global de funciones.	25
Figura 30: Dibujo conceptual de la problemática.	35
Figura 31: Dibujo de concepto de solución N° 1.	36
Figura 32: Dibujo de concepto de solución N° 2.	37
Figura 33:Dibujo de concepto de solución N° 3.	38
Figura 34: Dibujo de distribución de truchas.	38
Figura 35: Análisis técnico económico.	40
Figura 36: Método manual de clasificación y conteo.	41
Figura 37: Método propuesto de clasificación y conteo.	42
Figura 38: Fluograma de funcionamiento de la solución óptima.	43

INTRODUCCIÓN

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**.

1. 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 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 se encuentran en 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 viables conceptual y económicamente, al diseño conceptual.

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

² 17.5 centímetros en adelante.

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

1.1.3. Objetivos

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

1.1.3.1. Objetivo general

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

1.1.3.2. 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 solución óptima.

1.1.4. Metodología

La metodología, que contempla las recomendaciones para encontrar una solución conceptual 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 2221-2223 (*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.

⁴ Traducción: *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

1.2.2. Sistema de clasificación de peces

Existen **dos dimensiones** en las que se basa la clasificación: **la distancia de sde 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 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 toma la distancia que cubre las tres regiones.⁵

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 canibalismo⁶**, uniformizar el crecimiento para brindar una alimentación adecuada a la talla, prevenir estrés y agotamiento de los peces.(Flores, 2010, p. 16)

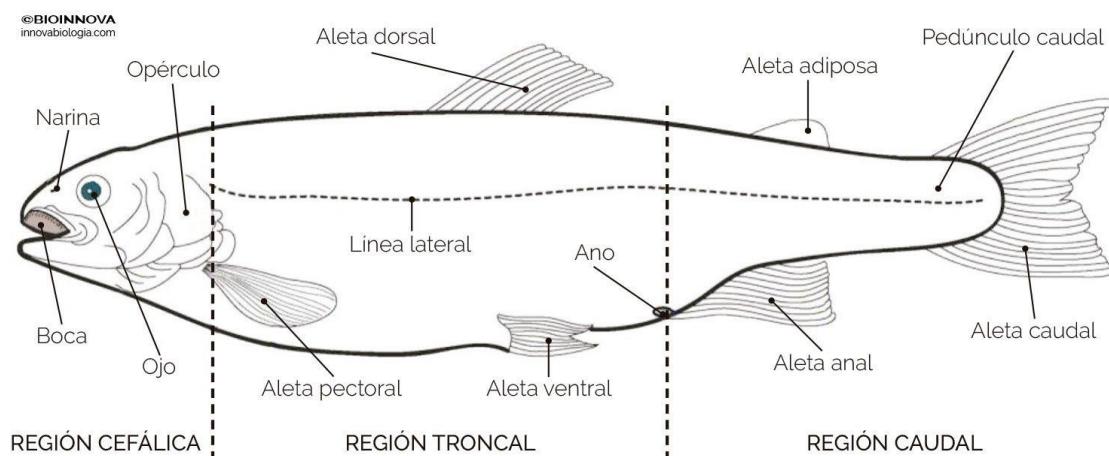


Figura 1:Anatomía de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

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 se muestra las etapas existentes según FONDEPES⁷.

Tabla 1: Clasificación de truchas por etapas de producción.

⁵ La toma de datos de manera manual suele ser hasta 100 veces más lenta que otros métodos.

⁶ Las truchas son carnívoras por lo que pueden alimentarse de su misma especie, en este caso de los de menor talla.

⁷ Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero

	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: Adaptado de FONDEPES.

1.2.2.1. 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 2. 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)

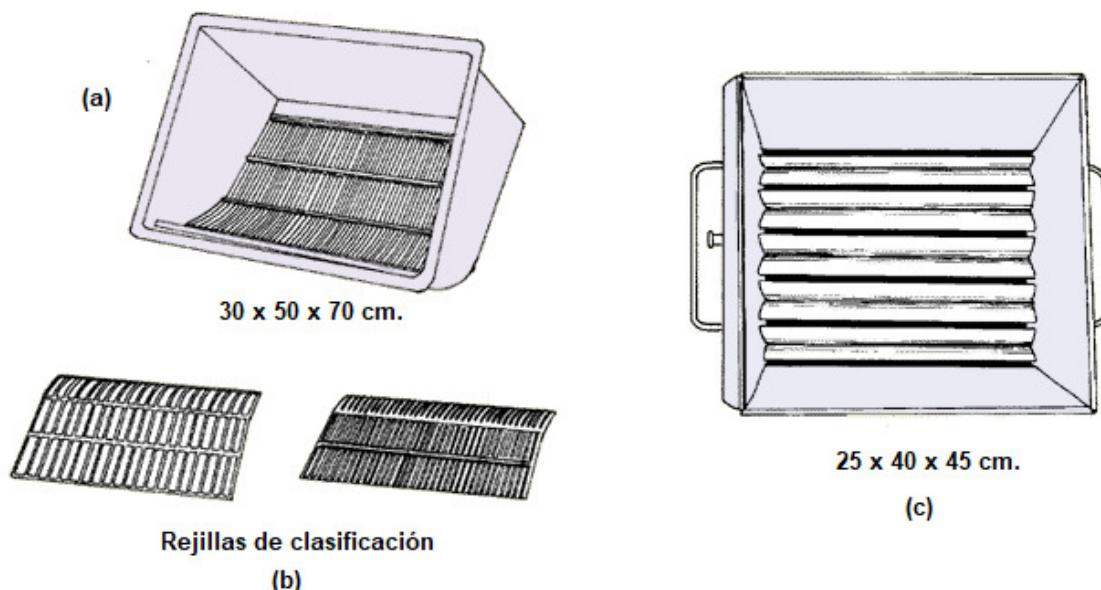


Figura 2: (a,b,c) Clasificadora de anchura fija, rejillas de clasificación y clasificadora ajustable.
Fuente: FAO.

Para realizar el proceso de clasificación manual (Figura 3) 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 sacadéra telescópica⁸ 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.

⁸ Herramienta para trasladar peces. También llamada “chinguillo”.



Figura 3: Clasificación y medición manual de truchas.
Fuente: MINAGRI⁹.

Para la medición se usa una herramienta, como la mostrada en la Figura 4, creada **artesanalmente** que contiene un ictiómetro para medir al pez mientras se realiza una clasificación o verificar el tamaño del pez.

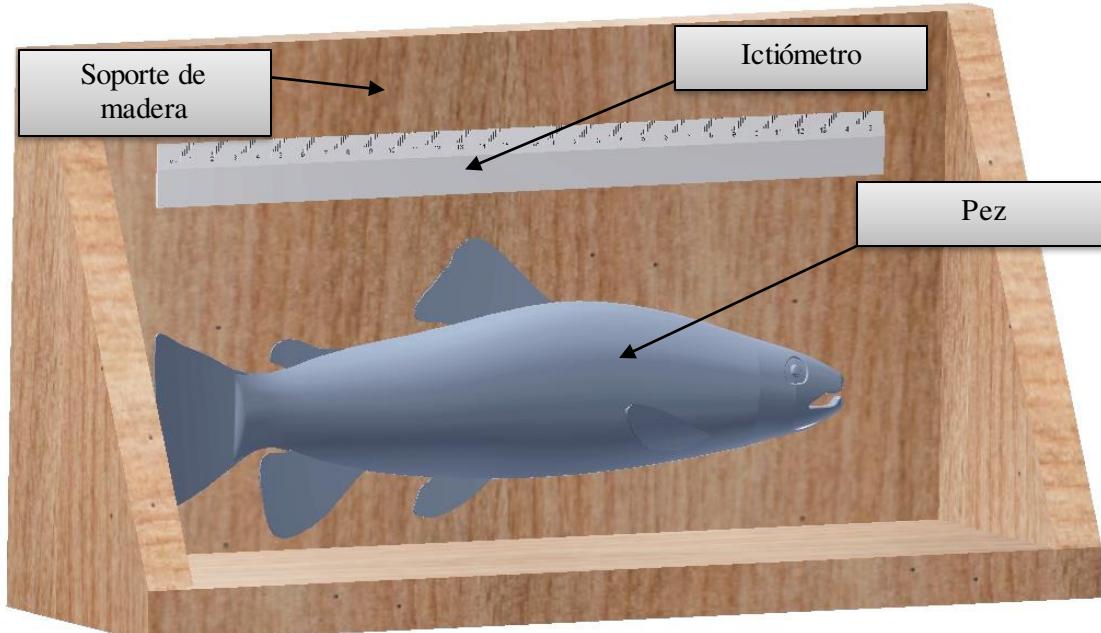


Figura 4: Herramienta de medición manual para peces.
Fuente: Elaboración propia.

1.2.2.2. 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 5 nos muestra la máquina, la cual puede clasificar tres rangos de diferentes capacidades de selección (18 000, 7200 y 3600 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)

⁹ Ministerio de Agricultura y Riego del Perú

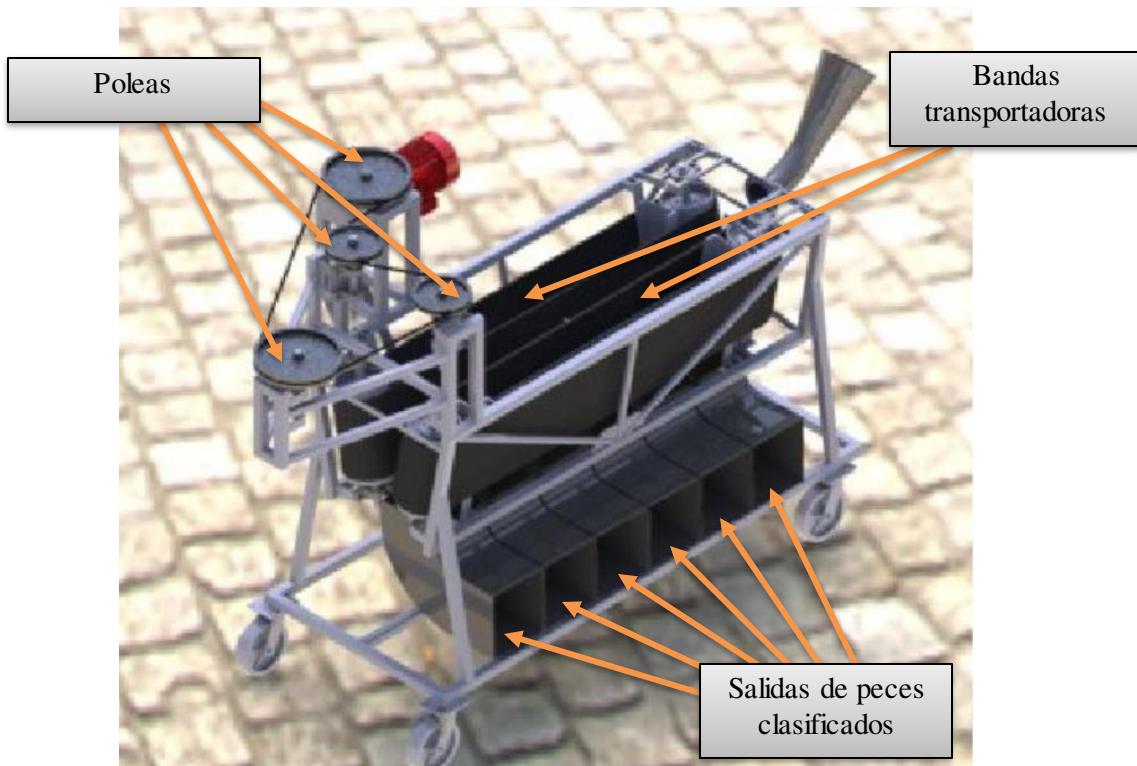


Figura 5: Máquina seleccionadora de truchas de A. G. V.
Fuente: Tesis “Diseño de una Máquina Selecciónadora de Truchas”

1.2.2.3. Clasificación mediante visión por computadora

Este tipo de clasificación completamente automatizada permite un conteo de peces más rápido con respecto a otros métodos.(Niu, 2018, pp. 2-3) Los avances en esta área son abundantes, en la Figura 6 se muestra uno de estos, una segmentación partiendo de la imagen de un pez

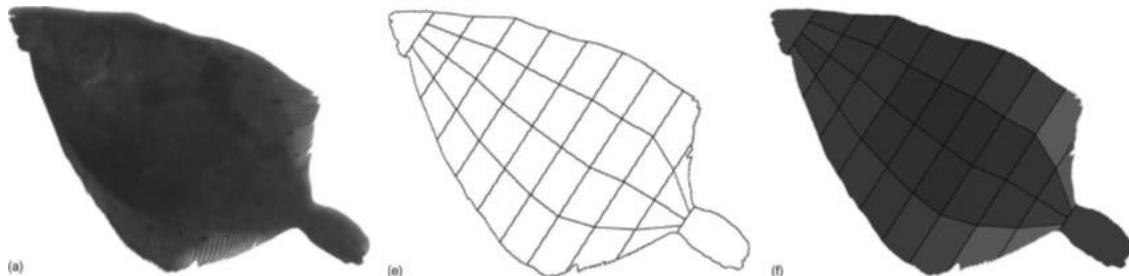


Figura 6: (a,c,f) Imagen original, 100 puntos de borde y enmallado.
Fuente: Medición automatizada de especies y tallas de peces por visión artificial. (White, Sveilingen, & Strachan, 2006, p. 4)

En la Figura 7 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.

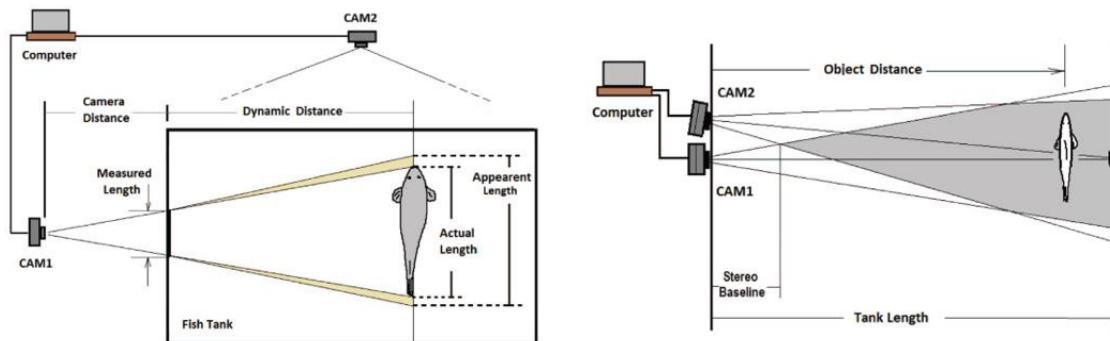


Figura 7: Medición de peces dentro de estanques con cámaras ortogonales y estéreo.

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

1.2.2.4. 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 neuronales¹⁰, con las que se logra una gran precisión para detectar y segmentar objetos en muchas diferentes condiciones (en este caso peces).

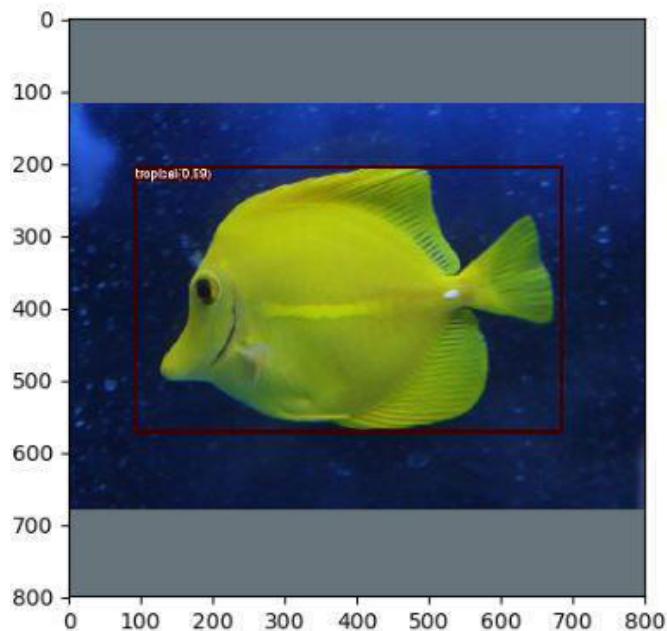


Figura 8: Pez identificado por una red neuronal.

Fuente: (Varalakshmi & J, 2019, p. 4)

1.2.2.5. Comparación

La Tabla 2 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.

¹⁰ Las redes neuronales son usadas para modelar libremente la forma en que un cerebro biológico parametriza datos.

Tabla 2: Comparación entre los métodos de clasificación.

Criterio\Método	Manual	Mecánico	Visión por computadora	Inteligencia Artificial
Cantidad de peces por hora	120 (por operario)	18 000	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 biomasa¹¹, verificar la mortandad y con propósitos de venta. Se realiza un conteo del pez directa o indirectamente.

1.2.3.1. Conteo manual

Debido a que realizar de forma separada y manual los procesos de clasificación, conteo o curado¹² 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 9. El proceso resultante contempla los tres subprocesos de manera secuencial: extracción de la trucha de los estanques o jaulas flotantes, curado, clasificación, conteo y cálculo de biomasa en un determinado recipiente.

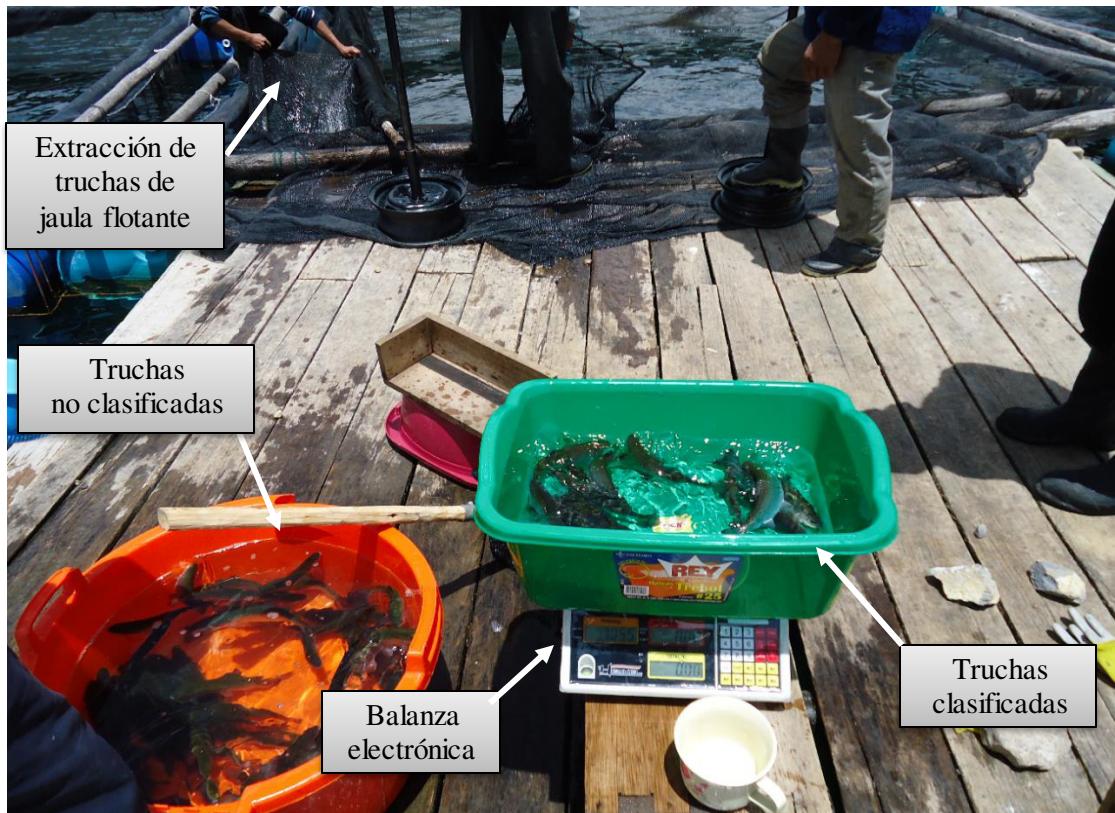


Figura 9: Clasificación, conteo, curado y cálculo de biomasa en la laguna de Cantrash - Ancash - Perú.
Fuente: Elaboración propia.

¹¹ La masa total de peces en un volumen determinado, se usa para determinar la cantidad de alimentación.

¹² Proceso de aplicar sal marina a los peces con la finalidad de sanar de enfermedades como saprolegniosis o exoftalmia.

1.2.3.2. 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 10 realiza un conteo mediante el uso de láseres infrarrojos que forman una “cortina”¹³. 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.



Figura 10: Contador de peces basados en luz infrarroja.

Fuente: (FAIVRE, 2013).

1.2.3.3. 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 11. 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.

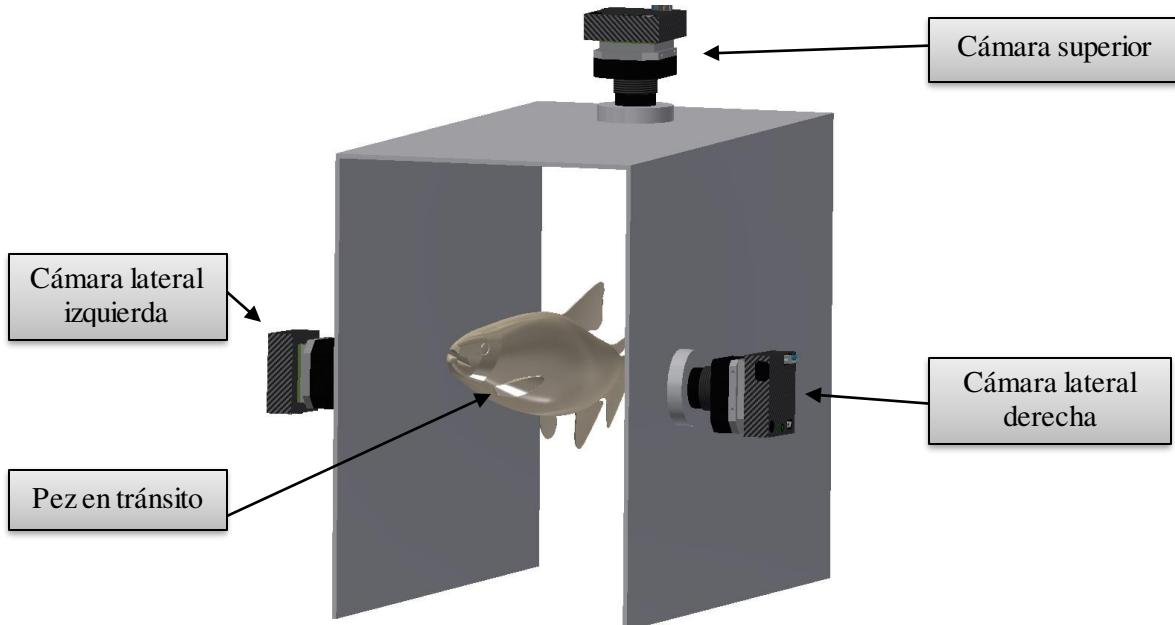


Figura 11: Planos comunes de posicionamiento para cámaras de inspección.

Fuente: Elaboración propia.

¹³ Llamada también barrera

1.2.3.4. Conteo mixto

El conteo mixto¹⁴ 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 12: Contador de peces mediante escáneres.

Fuente: AquaScan.

1.2.3.5. Comparación

En la Tabla 3 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.

Tabla 3: Comparación entre los métodos de conteo de peces.

Criterio\Método	Manual	Sensores	Visión por computadora	Mixto
Cantidad de peces por hora	120 (por operario)	95 000	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 artificial¹⁵ han abierto posibilidades para observar mejor el comportamiento de los peces. Tal tecnolo-

¹⁴ Método que emplea sensores y visión por computadora.

¹⁵ Según Elsevier, la tecnología de visión por computadora se considera existente desde 1973 hasta la fecha

ología 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, 2018, p. 1)

1.2.4.1. Extracción mediante inspección visual

En el subíndice 1.2.2.1 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.

1.2.4.2. 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 13 se ejemplifica el reporte.

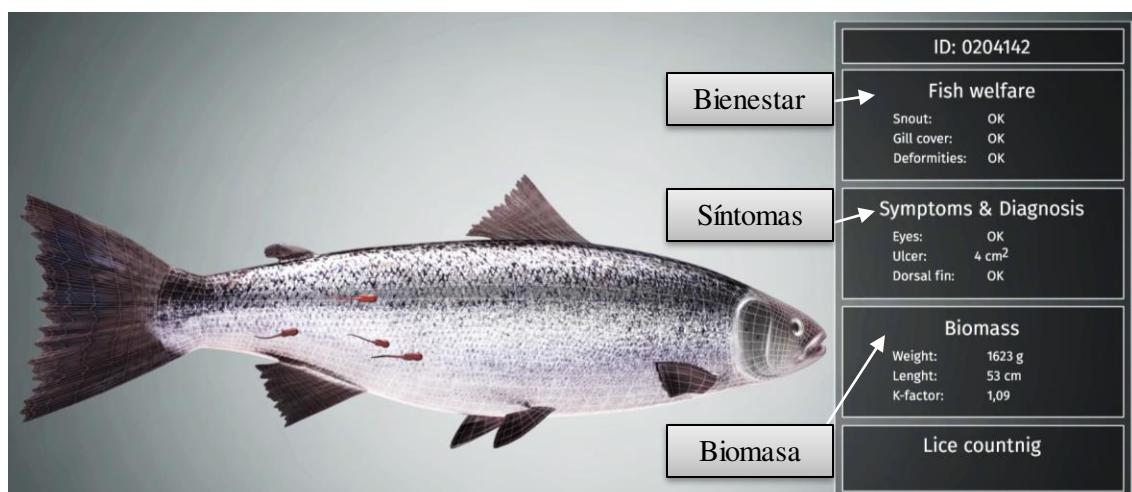


Figura 13: Extracción de características mediante visión por computadora.

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 14). El segundo tipo usa más imágenes para realizar un modelo 3d, la investigación indica que el sistema funciona con precisión. (Niu, 2018, pp. 4-5)

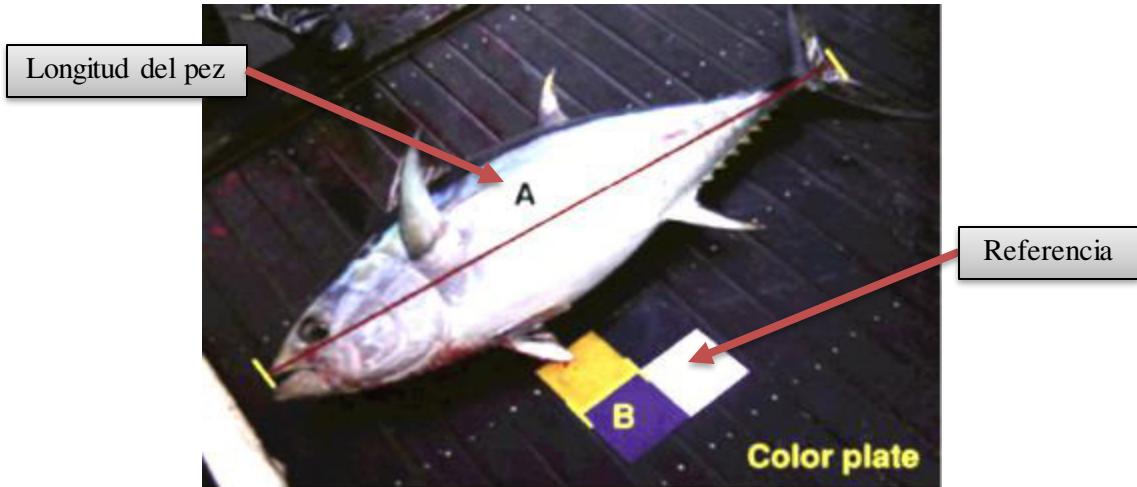


Figura 14: Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.

Fuente: (Hao, Yu, & 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.

1.2.5.1. 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 truchas.¹⁶



Figura 15: Sacadera telescópica de malla fina para peces.

Fuente: Seomusen vía Amazon.

1.2.5.2. Traslado automático

En la Figura 16 se muestra 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 peces¹⁷.

¹⁶ También son llamadas sacaderas telescópicas.

¹⁷ También llamada bomba “pin pin”, realiza una función similar a una bomba centrífuga, pero con peces en lugar de solo agua.

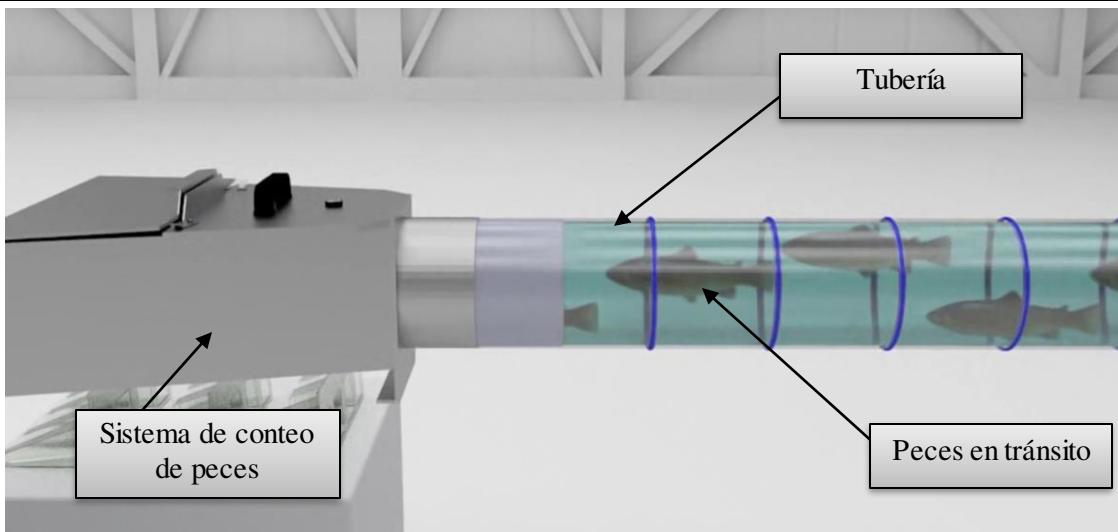


Figura 16: Recepción automática por bombeo de peces mediante tubería.

Fuente: FAIVRE.

1.2.5.3. Comparación

En la Tabla 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 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.

Tabla 4: 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.

1.2.6.1. 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 compartimiento de pesaje. 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)

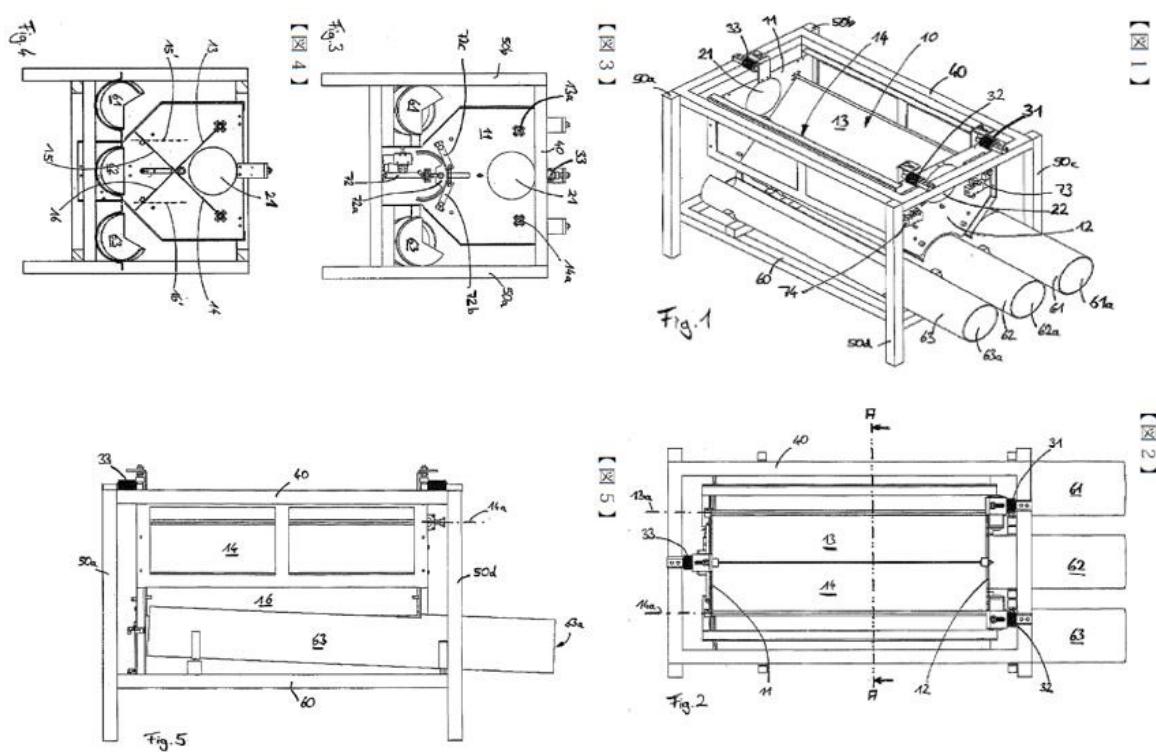


Figura 17: Clasificadora automática de peces de origen japonés.

Fuente: Patente JP5563164B2.

1.2.6.2. 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, 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.

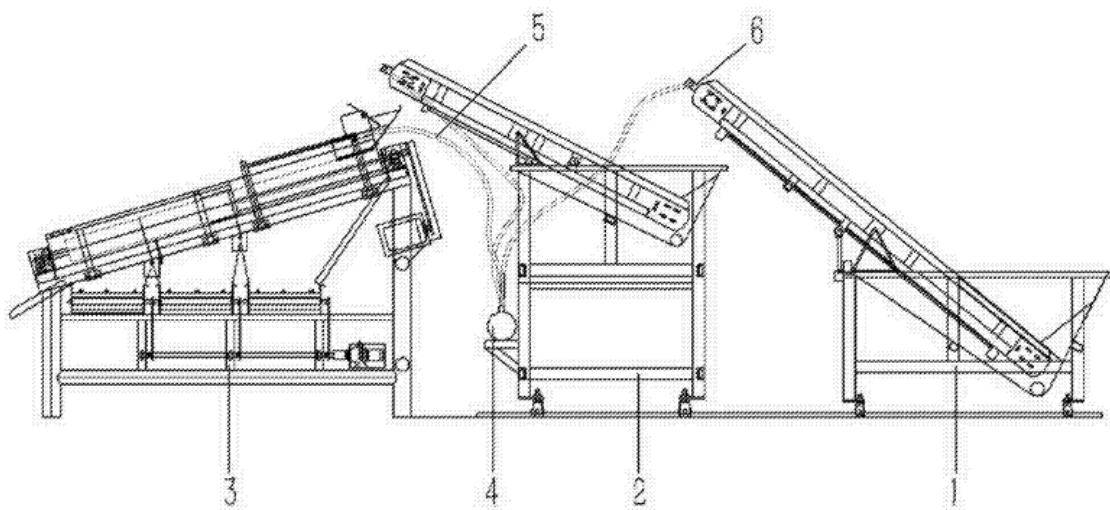


Figura 18: Clasificadora automática de peces de origen chino.

Fuente: Patente CN205180233U.

1.2.6.3. 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 daños 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.

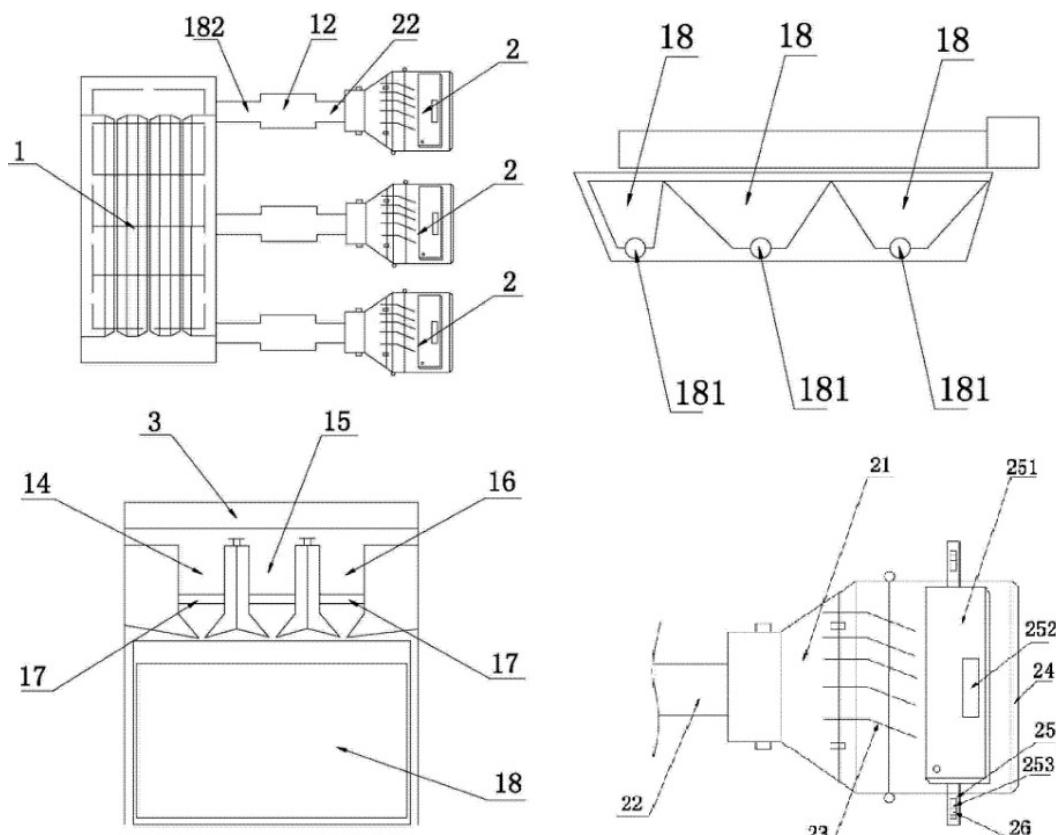


Figura 19: Clasificador y contador de peces de origen chino.

Fuente: Patente CN203884438U.

1.2.6.4. Seleccionadora 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 20: Clasificadora de peces de origen alemán.
Fuente: AGK – Aquakultur-Teich.

1.2.6.5. Clasificador automático para peces Helios

La empresa FAIVRE comercializa la máquina clasificadora Helios 25 para truchas de 5 a 350 gramos (Figura 21) 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, 2019b, 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 22) 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 21: Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.
Fuente: Empresa acuícola FAIVRE.

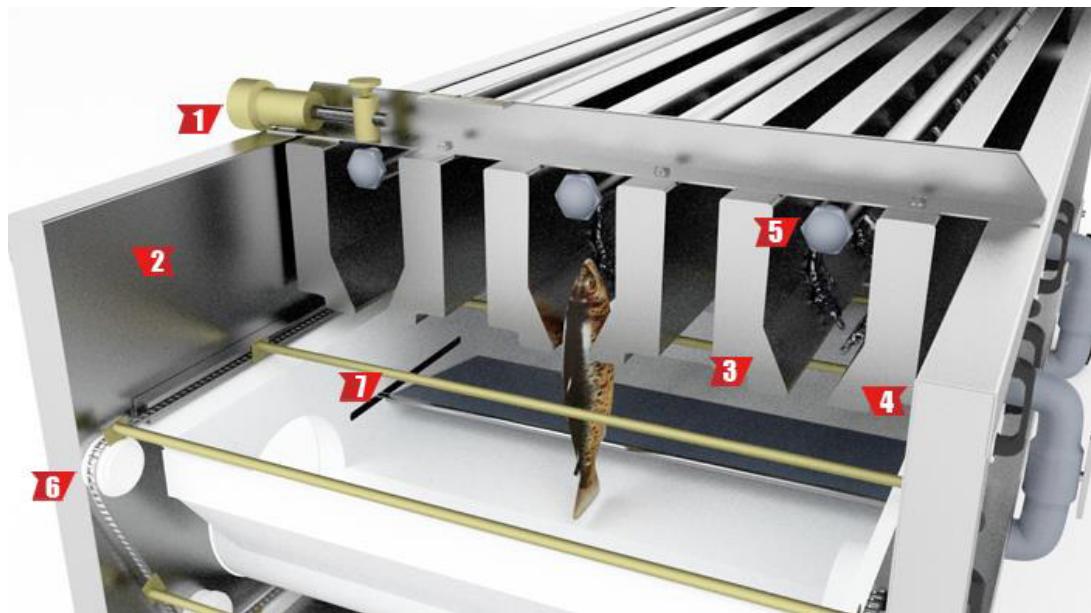


Figura 22: Sistema de canalización de peces.

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 23. En esta versión además incluye una interfaz de control más avanzada con más funciones.

Descripción del seleccionador :



Figura 23: Selección de pescado con contador integrado y sus partes.

Fuente: FAIVRE

1.2.6.6. 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 Figura 24. 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.

Nº	Ítem	Detalles	Cantidad	Acor-dado	U M	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

Figura 24: Extracto de cotización de máquinas clasificadora y contadora para peces.¹⁸

Fuente: Pentair.

1.2.6.7. 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 22. (Apollo, 2013)



Figura 25: Clasificadora de peces de origen danés
Fuente: (Apollo, 2013)

1.2.6.8. Contador de peces Pescavision

Los contadores de peces mostrados en la Figura 26 funcionan bajo el mismo principio que sus clasificadores mostrados en el índice 1.2.6.5, 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.

¹⁸ La cotización completa se encuentra en el Anexo A3



Figura 26: (a,b,c) Contador Pescavision 100, Pescavision 300 y Pescavision 10x4
Fuente: (FAIVRE, 2019a)

1.2.6.9. 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 diversos 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.

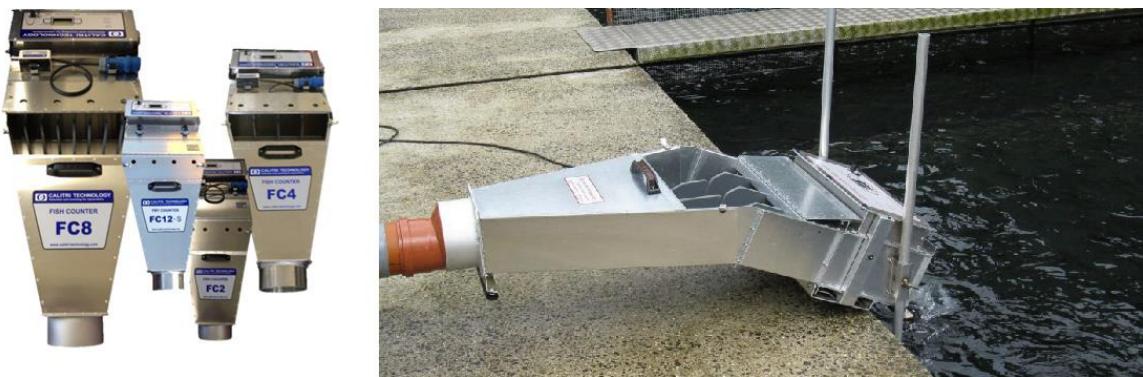


Figura 27: Contador de peces de origen belga.
Fuente: Calitri Technology.

1.2.6.10. Comparación

En la Tabla 5 se muestra la comparación entre máquinas clasificadoras¹⁹. 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.

Tabla 5: Comparación de clasificadores comerciales.

Criterio\Método	AGK	HELIOS 25 ²⁰	APOLLO	PENTAIR V-10000140 ²¹
Compra	Dependiendo de stock	Dependiendo de stock	Dependiendo de stock	A pedido ²²
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	5	-
Dimensiones (cm) ²³	350x100x118	200x100x110 ²⁴	315x128x128 ₂₅	-
Peso (kg)	150	210	375	-
Precisión (%)	-	97	-	97
Precio (\$)	-	-	15 730	53 567

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

¹⁹ También llamadas seleccionadoras.

²⁰ También existe Helios 10, 30, 40, 50, 60 y 100. En el Anexo A2 se muestra las características de cada una.

²¹ Cotización a empresa Pentair en el Anexo A3.

²²Diseño y envío de 6 a 8 semanas luego de ordenar y realizar el pago. Las especificaciones se indican luego de diseñado el producto.

²³ Las dimensiones de la máquina son de largo(*l*), ancho(*a*) y alto(*h*).

²⁴ Altura ajustable de 110 a 140 cm.

²⁵ Altura ajustable de 128 a 145 cm.

En la Tabla 6 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.

Tabla 6: Comparación de contadores comerciales.

Criterio\Método	CALITRI FC4	PESCAVISIÓN 50 ²⁶	PESCAVISIÓN 300 ²⁷	PENTAIR V-1000 ²⁸
Compra	Dependiendo de stock	Dependiendo de stock	Dependiendo de stock	A pedido
Rango (<i>g</i>)	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 (<i>V – Hz.</i>)	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 FAI-VRE	Sistema de clasificación FAI-VRE	Bombeo de peces
Mínima velocidad de entrada de caudal (<i>m³/h</i>)	12	40	40	40
Dimensiones (cm) ²⁹	125x50x35	150x50x60	200x150x200	-
Peso (<i>kg</i>)	18	20	-	-
Precisión (%)	97	98-100	98 - 100	97
Precio (\$)	5 705.37	-	-	64 027.00

Fuente: Calitri, FAIVRE, Pentair y Elaboración propia.

²⁶ Folleto en el Anexo A2.

²⁷ Folleto en el Anexo A2.

²⁸ Cotización a empresa Pentair en el Anexo A3.

²⁹ Las dimensiones de la máquina son de largo(*l*), ancho(*a*) y alto(*h*).

2. DISEÑO MECATRÓNICO CONCEPTUAL

2.1. 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, & Grote, 2007, p. 159)

2.1.1. Lista de requerimientos

La lista de requerimientos (Tabla 7) 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*³⁰.

Tabla 7: Resumen de los requerimientos del sistema.

LISTA DE REQUERIMIENTOS			
Última modificación	D / E ³¹	Requerimientos	Responsable
2019-09-24	E	<u>Función principal:</u> Clasificar y contar truchas arcoíris de 15 a 20 cm. en al menos 2 salidas y enviar un reporte de la clasificación y el conteo.	P.D.V.
2019-10-25	E	<u>Geometría:</u> El sistema no debe exceder la altura de 120 cm.	
	E	<u>Fuerzas:</u> Pesar menos de 200 kg.	
2019-10-05	E	<u>Energía:</u> Usará baterías DC.	
2019-09-24	E	Funcionar desde -10 a 40 °C	
2019-09-24	D	La máquina debe enviar la información	
2019-09-22	E	<u>Materiales:</u> La máquina debe ser inoxidable.	
2019-09-20	E	La máquina no debe desprender ningún residuo que pueda contaminar el agua.	
	D	Los materiales de manufactura deben poder ser adquiridos en el mercado peruano.	
2019-09-24	D	<u>Señales:</u> Se debe enviar una señal en caso de fallo del sistema y pausar el proceso.	
2019-10-05	E	<u>Hardware:</u> La máquina debe usar cámaras o dispositivos similares para obtener imágenes.	
2019-10-25	E	Los dispositivos electrónicos deben funcionar a 4200 m.s.n.m.	
2019-10-05	D	<u>Software:</u> El sistema generará un reporte de la clasificación y conteo.	
2019-09-24	D	<u>Costos:</u> El precio unitario debe ser menor a 10 mil dólares.	
Última modificación: 2019-10-25			

Fuente: Elaboración propia.

³⁰ Engineering Design – A Systematic Approach.(Pahl et al., 2007, pp. 144-158)

³¹ Deseo (D) y exigencia (E).

2.1.2. Caja negra

La caja negra mostrada en la Figura 28 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 7.

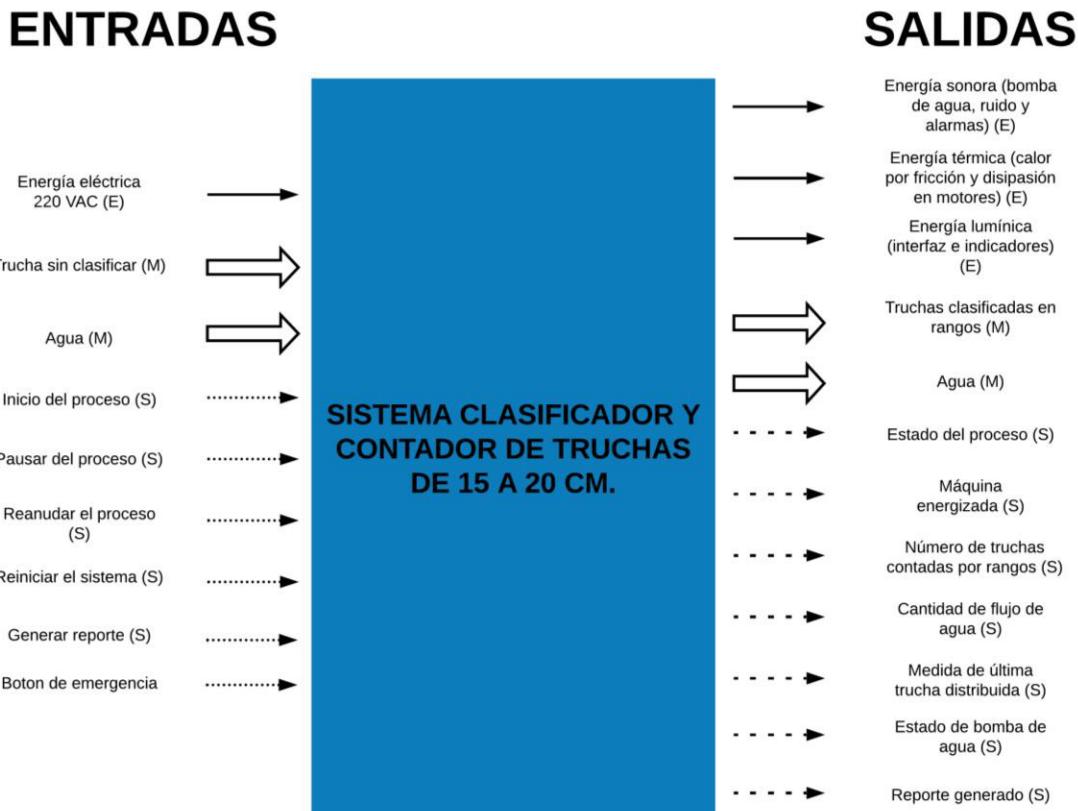


Figura 28: Caja negra del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2.1. Función principal

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

2.1.2.2. 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 imprescindiblemente 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.

2.1.2.3. 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.

2.1.3. 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., 2007, pp. 169-181)

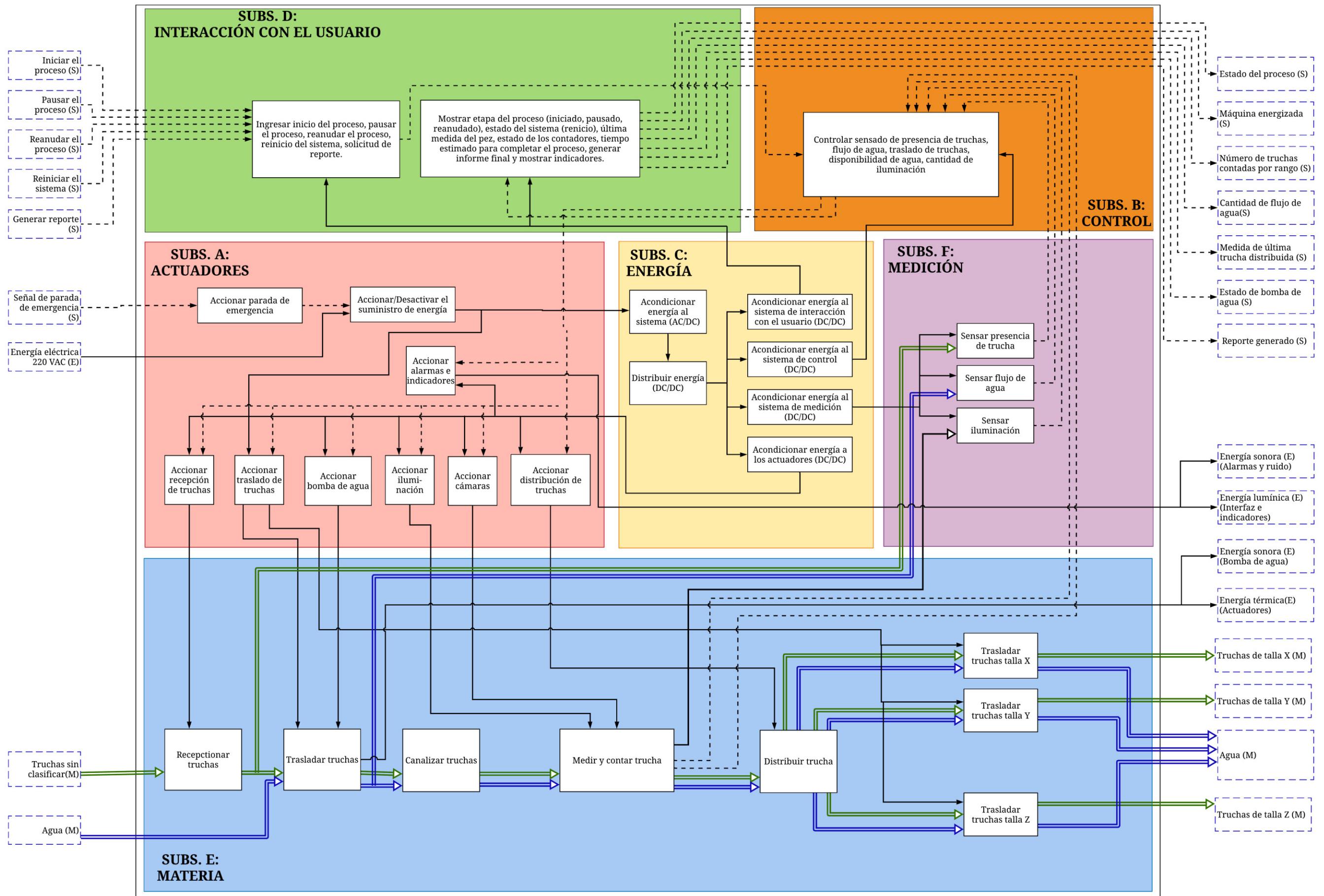


Figura 29: Estructura global de funciones.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.3.1. Lista de funciones por subsistema

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

2.1.3.1.1. 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 entrada 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 el sistema que genera flujo de agua en el sistema para poder trasladar truchas.

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 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.

2.1.3.1.2. 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.

2.1.3.1.3. 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. En el subsistema en mención

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.

2.1.3.1.4. 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.

2.1.3.1.5. 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 “recepcionar 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.

2.1.3.1.6. 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.

2.1.4. 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, 2007, pp. 181-184)

Tabla 8: Matriz morfológica subsistema A-1

Función	Posibles soluciones				
Accionar parada de emergencia					Interruptor de seguridad de apagado de emergencia
Accionar/Desactivar el suministro de energía					Interruptor deslizante
Accionar recepción de truchas					Reja accionada por motor
Accionar traslado de truchas					Electroválvula de acción mixta

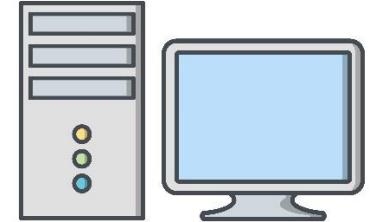
Fuente: Geekboletelectronics Hawkusa, Homedepot, Parts-express, TcPoolEquipment, Uctrlonics, Eco-sources, imágenes de dominio público y elaboración propia.

Tabla 9: Matriz morfológica subsistema A-2

Función	Posibles soluciones				
Accionar bomba de agua					
Accionar iluminación		Led de alta potencia			Led reflector
Accionar cámaras		Módulo con cámara		Cámara estéreo	
Accionar distribución de truchas		Servomotor			Actuador eléctrico
Accionar alarmas e indicadores		Timbre		Bocina	

Fuente: Geekboletelectronics Hawkusa, Homedepot, Parts-express, TcPoolEquipment, Uctrlonics, Eco-sources, imágenes de dominio público y elaboración propia.

Tabla 10: Matriz morfológica subsistema B

Función	Posibles soluciones			
Función general: sensado de presencia de trucha, flujo de agua, traslado de truchas, sensado de disponibilidad de agua y cantidad de iluminación.	 Microcontrolador	 Controlador lógico programable	 Computadora monoplaca	 Computadora ordinaria

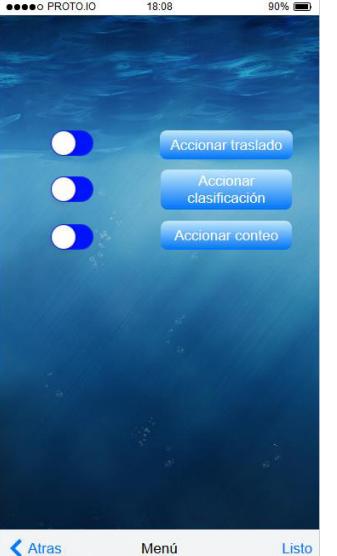
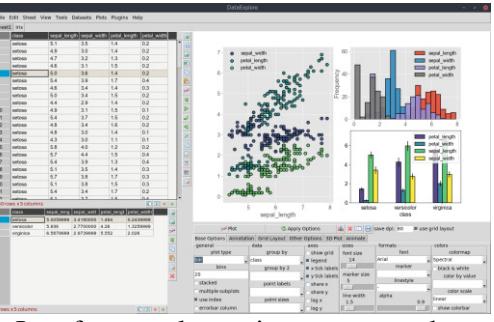
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11: Matriz morfológica subsistema C

Función	Posibles soluciones	
Acondicionar voltaje (AC/DC)	 Fuente de alimentación	
Regular voltaje (DC/DC)	 Transformador rectificador	 Variador de voltaje
Acondicionar energía al sistema de interacción con el usuario (DC/DC)		
Acondicionar energía al sistema de control (DC/DC)		 Fuente switching
Acondicionar energía al sistema de medición (DC/DC)		
Acondicionar energía a los actuadores (DC/DC)		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Matriz morfológica subsistema D

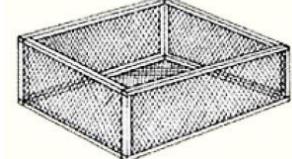
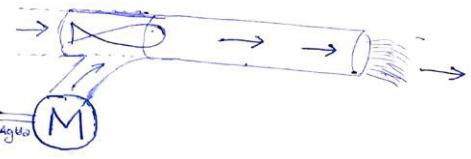
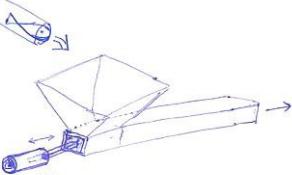
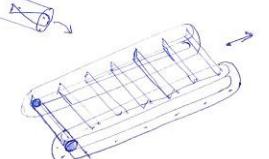
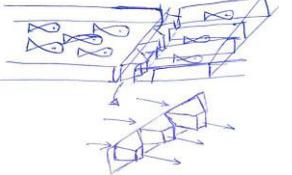
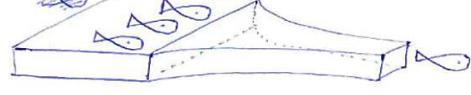
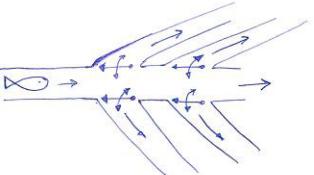
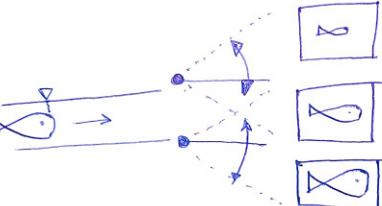
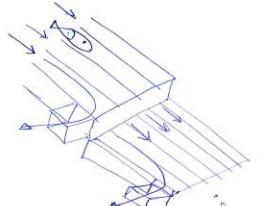
Función	Posibles soluciones
Función ingreso de señales: iniciar, pausar, reanudar y reiniciar el proceso.	 <p>Aplicación en celular</p>
Función mostrar señales: iniciar, pausar, reanudar y reiniciar el proceso.	 <p>Interfaz con el usuario en computadora</p>

Fuente: Elaboración propia.



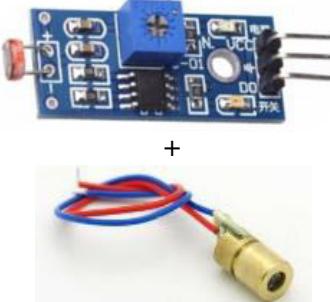
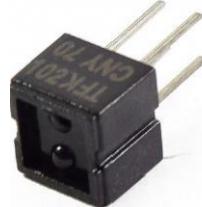
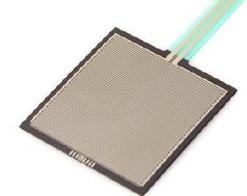
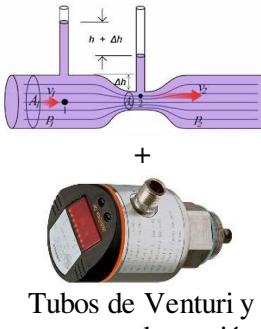
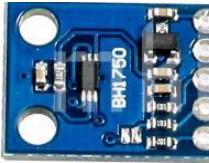
Panel de control con botones e indicadores.

Tabla 13: Matriz morfológica subsistema E

Función	Posibles soluciones		
Recepcionar truchas	 Tolva	 Malla	
Trasladar truchas	 Inyección de caudal	 Juego de pistones	 Cadenas transportadoras
Canalizar truchas	 Tolva	 Filtros de tamaño	 Filtro único
Distribuir trucha	 Múltiples compuertas programables	 Compuerta única programable	 Dimensionalidad

Fuente: FAO, imágenes de dominio público y elaboración propia.

Tabla 14: Matriz morfológica subsistema F

Función	Posibles soluciones					
Sensar presencia de trucha	 Sensores de presencia	 Fotorresistencia y láser	 Sensor infrarrojo	 Sensor de ultrasonido	 Sensor de peso	
Sensar flujo de agua	 Sensor de caudal	 Rotámetro electrónico	 Tubos de Venturi y sensores de presión	 Medidor de flujo de velocidad	 Sensor de presión líquida	
Sensar iluminación		 Sensor electrónico				

Fuente: Teslabem, Bigtronica, Arduino e imágenes de dominio público.

2.1.5. Concepto de solución

Los conceptos de solución que se presentan a continuación deben dar solución acorde a la problemática³². En la Figura 30 se muestra un dibujo de dicha problemática.

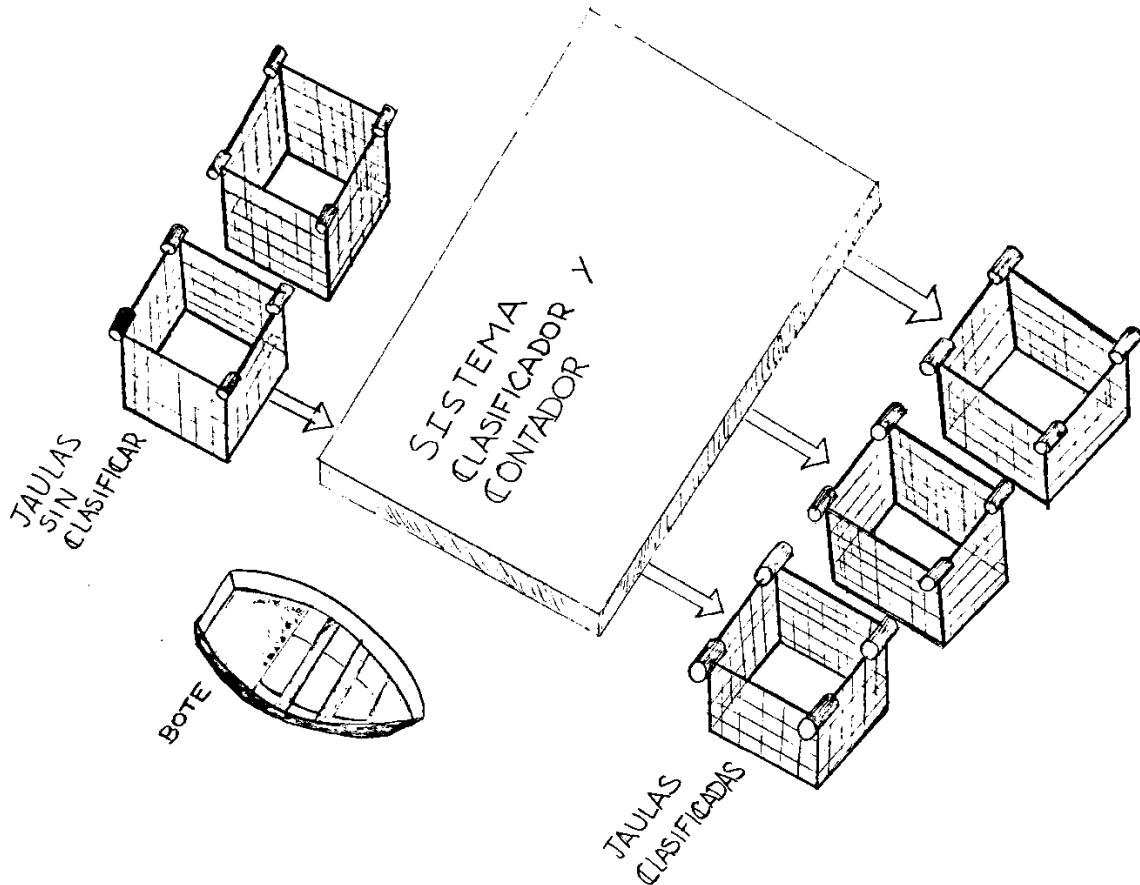


Figura 30: Dibujo conceptual de la problemática.
Fuente: Elaboración propia.

2.1.5.1. Concepto de solución N° 1

El sistema, mostrado en la Figura 31, 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 desactivado. 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 pue da 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.

³² En la página 2 se define la problemática

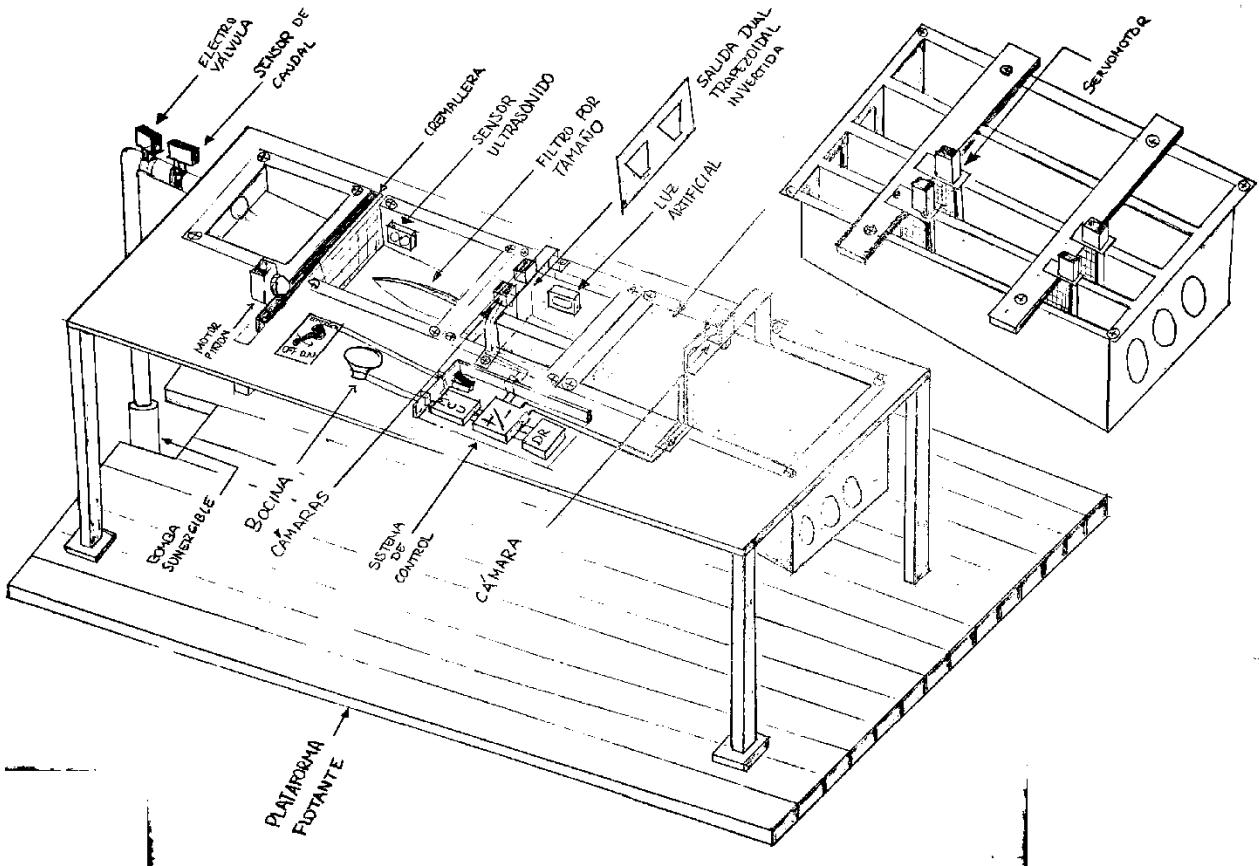


Figura 31: Dibujo de concepto de solución N° 1.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5.2. Concepto de solución N° 2

El sistema, mostrado en la Figura 32, 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 electroválvula 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 inalámbricamente 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.

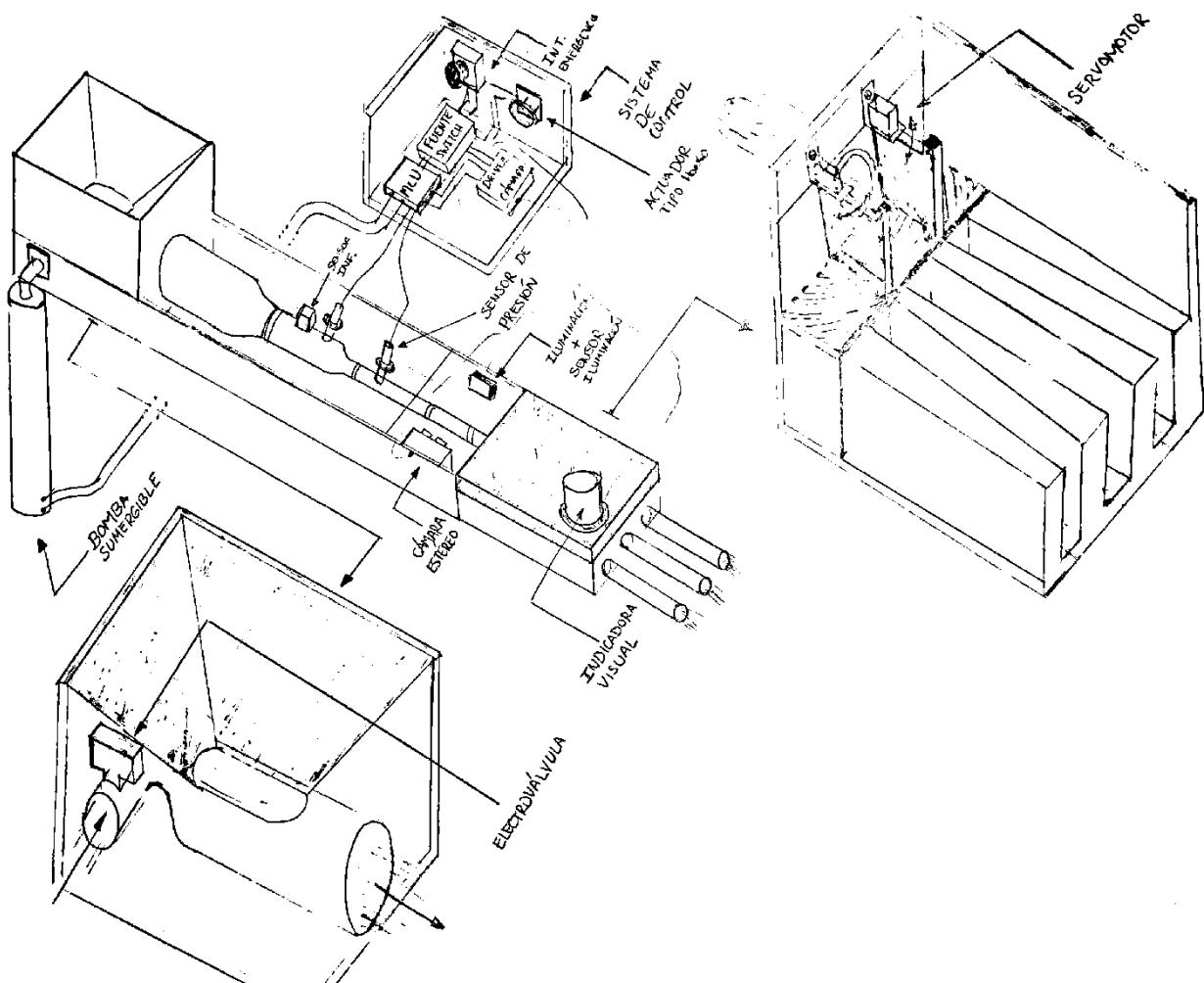


Figura 32: Dibujo de concepto de solución N° 2.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5.3. Concepto de solución N° 3

El tercer concepto de solución (Figura 33) 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 depositas por la parte superior en el sistema físico de “recepción” de tal forma que solo puede pasar una por vez. Debido a la gravedad las truchas descenderán por la tubería hasta una parte donde se le agrega caudal al sistema mediante un codo tipo “y 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, mostrado en la Figura 34, para direccionar a la trucha a la salida correspondiente.

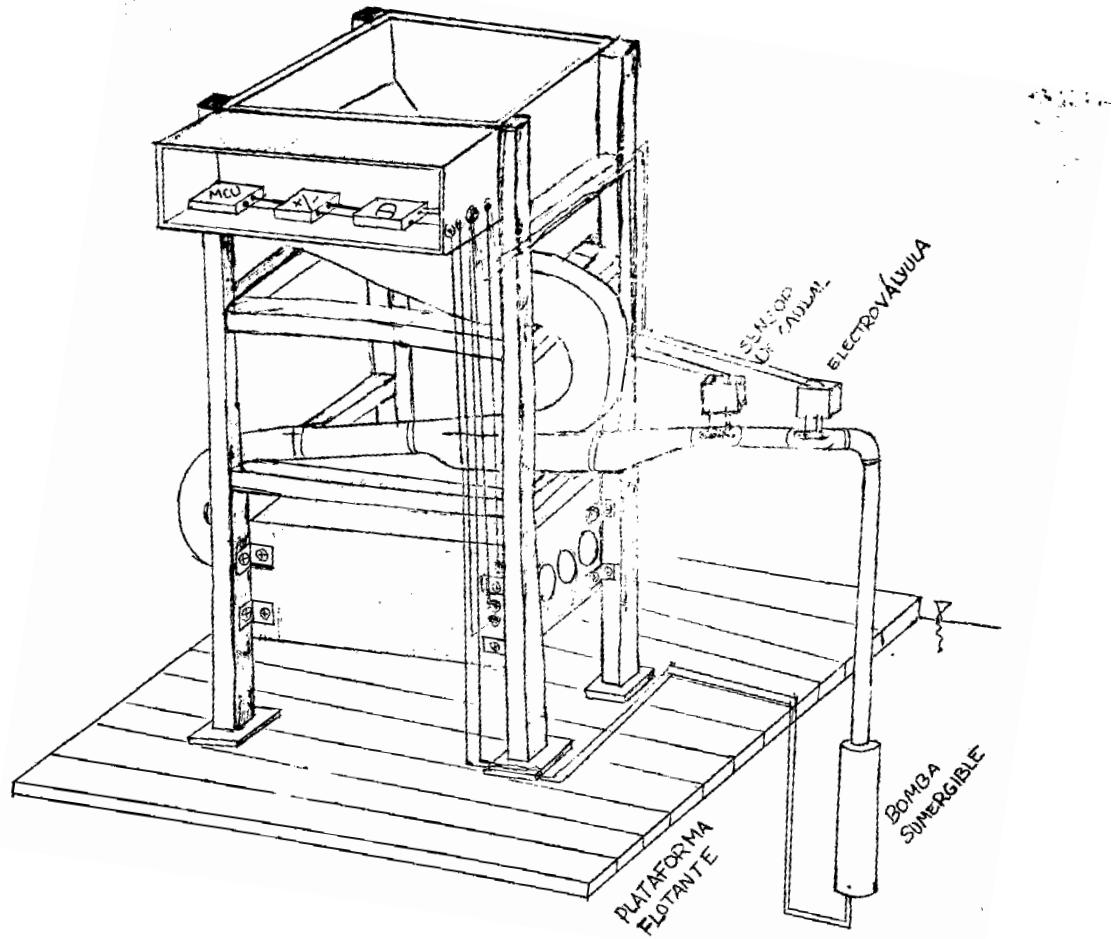


Figura 33:Dibujo de concepto de solución N° 3.
Fuente: Elaboración propia.

El sistema de distribución de truchas de la Figura 33 es similar al del concepto solución N° 2, también se muestra en la Figura 34.

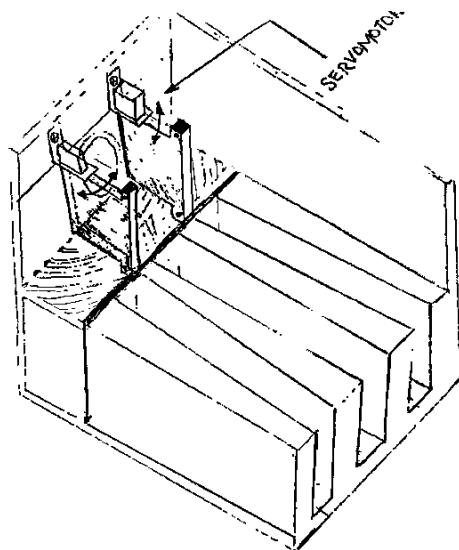


Figura 34: Dibujo de distribución de truchas.
Fuente: Elaboración propia.

2.1.6. Evaluación técnico-económica

La evaluación de los conceptos se realiza tomando en cuenta diferentes criterios tanto cuantitativos como cualitativos. En la Tabla 15 se muestra la valoración y su significado.

Tabla 15: 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 un puntaje que indica qué tanto cumple con cada criterio. El puntaje y su significado se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Escala de efectividad de las soluciones.

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

Fuente: Elaboración propia.

2.1.6.1. 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 30; **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.

Tabla 17: 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.

2.1.6.2. 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.

Tabla 18:Evaluación de criterios económicos

Económicos			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.

2.1.6.3. Elección del concepto óptimo

Con los datos obtenidos en la Tabla 17 y Tabla 18 podemos hacer una comparación numérica de promedios ponderados de valoraciones según criterios establecidos. En la Figura 35 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.

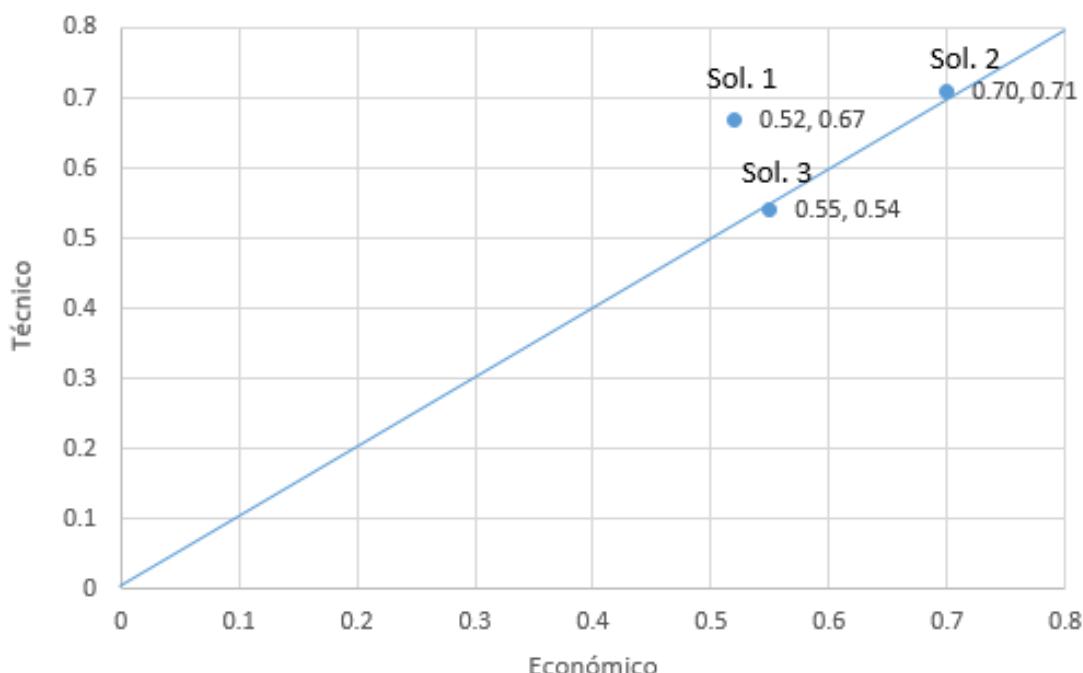


Figura 35: Análisis técnico económico.

Fuente: Elaboración propia.

El **concepto de solución N° 2 obtuvo un mejor puntaje** con respecto a las otras dos alternativas por lo cual se selecciona como **la propuesta óptima**. Además, muestra un equilibrio entre la valoración técnica y económica. Por lo que se escoge este concepto de solución como solución óptima.

2.1.7. Diagrama de operaciones de solución seleccionada

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 36 se muestra a modo de referencia el diagrama de operaciones del proceso manual, la Figura 37 muestra el método propuesto y la secuencia de acciones se explora en la Figura 38

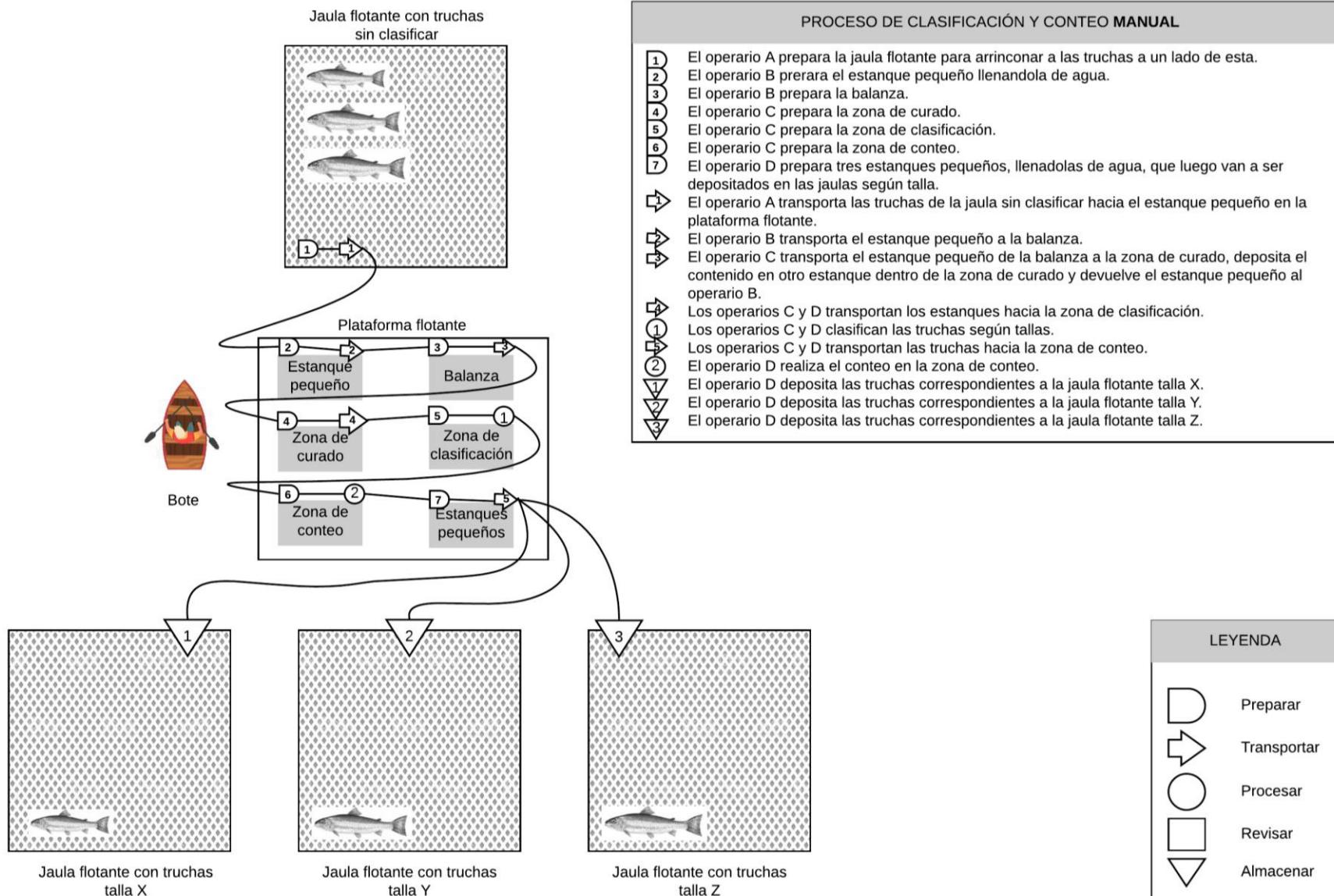


Figura 36: Método manual de clasificación y conteo.
Fuente: Elaboración propia.

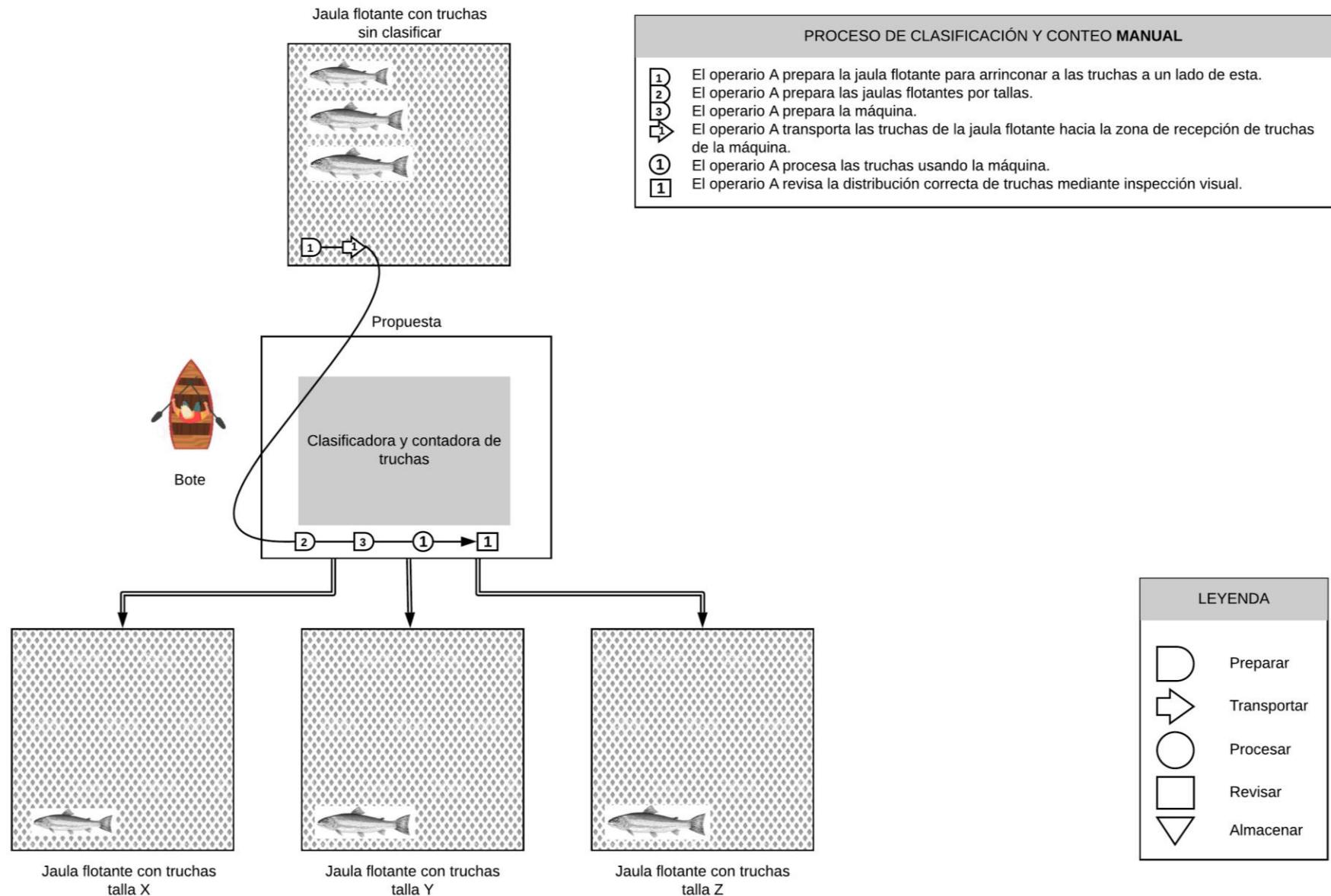


Figura 37: Método propuesto de clasificación y conteo.
 Fuente: Elaboración propia.

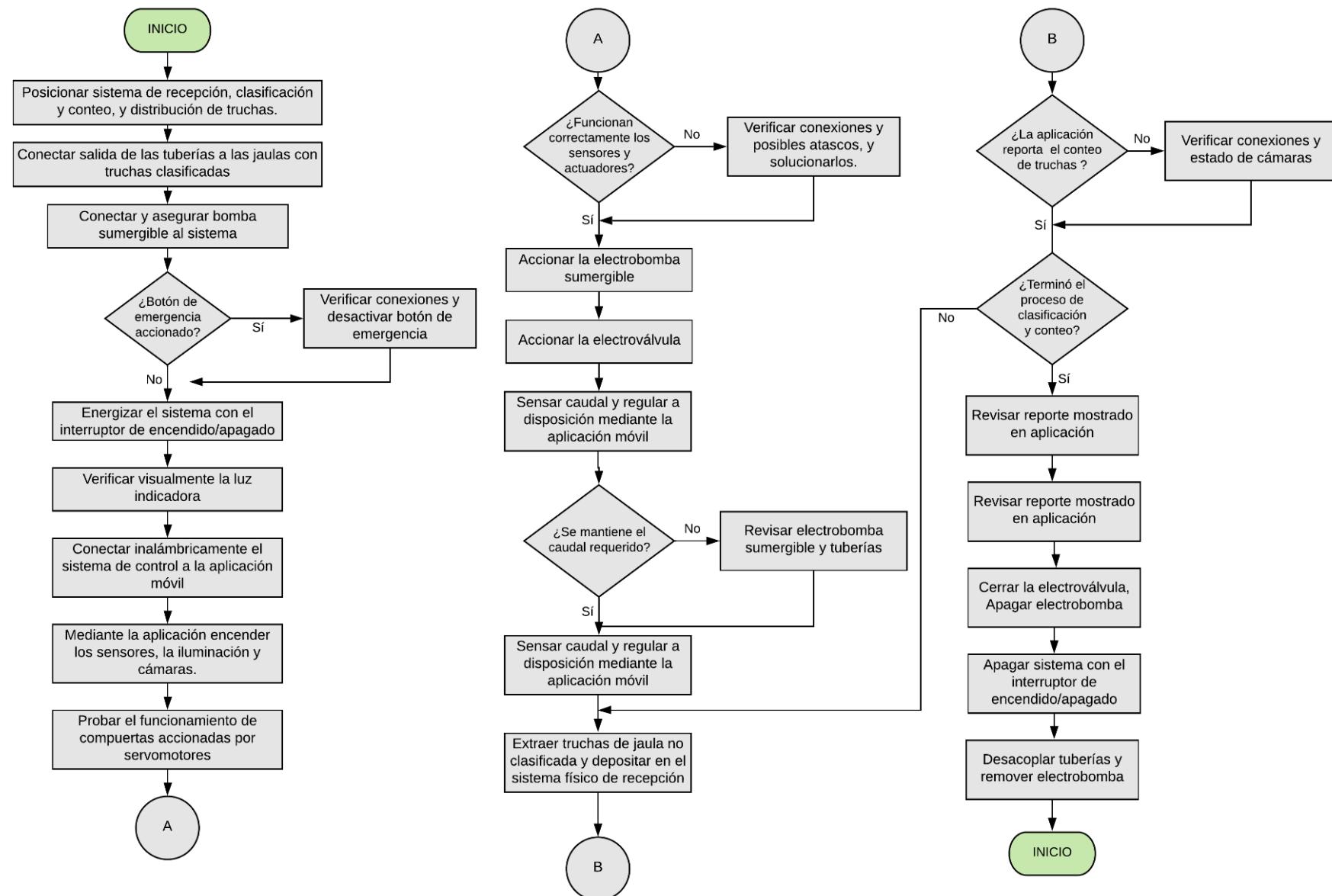


Figura 38: Flujograma de funcionamiento de la solución óptima.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

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

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

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

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

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

BIBLIOGRAFÍA

- AGK Aquakultur - Teich. (2010). *Vollautomatische Sortiermaschine*. Recuperado de <https://www.agk-kronawitter.de/shop/Aquakultur-Teich/Sortiergeraete/Sortiermaschine/Vollautomatische-Sortiermaschine.html>
- Al-Jubouri, Q., Al-Nuaimy, W., Al-Taee, M., & 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. <https://doi.org/10.1109/SSD.2017.8166931>
- Apollo. (2013). Apollo – Fish grader.
- AquaScan. (2015). *AquaScan Registration Unit CSF1600* (p. 1600). p. 1600. Recuperado de <http://www.aquascan.com/event/dolink/famid/347548>
- Biosort. (2016). iFarm - Individualized aquaculture. Recuperado 21 de septiembre de 2019, de <https://www.youtube.com/watch?v=JsGPwjEIeio>
- Calitri. (2018). Calitri Technology Fish Counters. Recuperado 25 de septiembre de 2019, de <https://pentairaes.com/calitri-fish-counters.html>
- Daley, J. (2018). How Fish Farms Can Use Facial Recognition to Survey Sick Salmon. Recuperado 23 de septiembre de 2019, de Smart News website: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/facial-recognition-will-be-used-monitor-fish-faces-180970493/>
- FAIVRE. (2013). *Fish counter Pescavision* (pp. 4-5). pp. 4-5. Recuperado de <http://www.faiivre.fr/index.php/en/products/fish-counters/en-pescavision-counter/19-en-produits/109-en-counter-p30>
- FAIVRE. (2018). Principle of the SPS technology. Recuperado 23 de septiembre de 2019, de <http://www.faiivre.fr/index.php/en/products/fish-graders/19-en-produits/183-en-fish-grader-sps>
- FAIVRE. (2019a). Grader fish counters. Recuperado 29 de septiembre de 2019, de <http://www.faiivre.fr/index.php/en/products/fish-counters>
- FAIVRE. (2019b). *Seleccionadores automáticos* (pp. 1-2). pp. 1-2. Recuperado de <http://www.faiivre.fr/index.php/en/products/fish-graders/fish-grader-helios-25>
- Fang, J., Zhu, J., Meng, L., Zhao, B., Liang, Y., & Shao, L. (2015). *Full -automatic fish grader*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/CN205180233U/en?oq=CN205180233U>
- FAO. (2005). Clasificacion Por Tamaño De Los Peces. Recuperado 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. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>
- FAO. (2017). *Statistics Fisheries and Aquaculture Statistics Statistiques Des Pêches*. <https://doi.org/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. Recuperado de http://www.labor.org.pe/descargas/modulo_buenas_practicas_produccion_truchico_la_puno_2010.pdf
- FONDEPES. (2014). *Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales*. Recuperado 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. <https://doi.org/10.17227/01234870.44folios165.179>
- Hao, M., Yu, H., & Li, D. (2016). *The Measurement of Fish Size by Machine Vision - A*

-
- Review.* https://doi.org/10.1007/978-3-319-48354-2_2
- Jingwen, Z. (2014). *Automatic fish grader.* Recuperado de <https://patents.google.com/patent/CN203884438U/en?oq=CN203884438U>
- Martinez, J. (2003). *Referencias Documentales Bajo El Sistema “Harvard”.* Recuperado de http://www.tesispsico.unlugar.com/mat_catedra/investig_documental.pdf
- Ministerio de la Producción del Perú. (2018). *Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola 2017.* Recuperado 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., & Li, Z. (2018). Survey of Fish Behavior Analysis by Computer Vision. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 09(05). <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000534>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering Design* (3.^a ed.). <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2>
- Seafood Trade Intelligence Portal. (2018). Trout in Peru. Recuperado 5 de septiembre de 2019, de <https://seafood-tip.com/sourcing-intelligence/countries/peru/trout/>
- Varalakshmi, P., & 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.*
- White, D. J., Svelingen, C., & Strachan, N. J. C. (2006). Automated measurement of species and length of fish by computer vision. *Fisheries Research*, 80(2-3), 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.04.009>
- スフェン・キュネン. (2010). *Fish classification device and fish classification method* (p. 8). p. 8. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/JP5563164B2/en?oq=JP5563164B2>