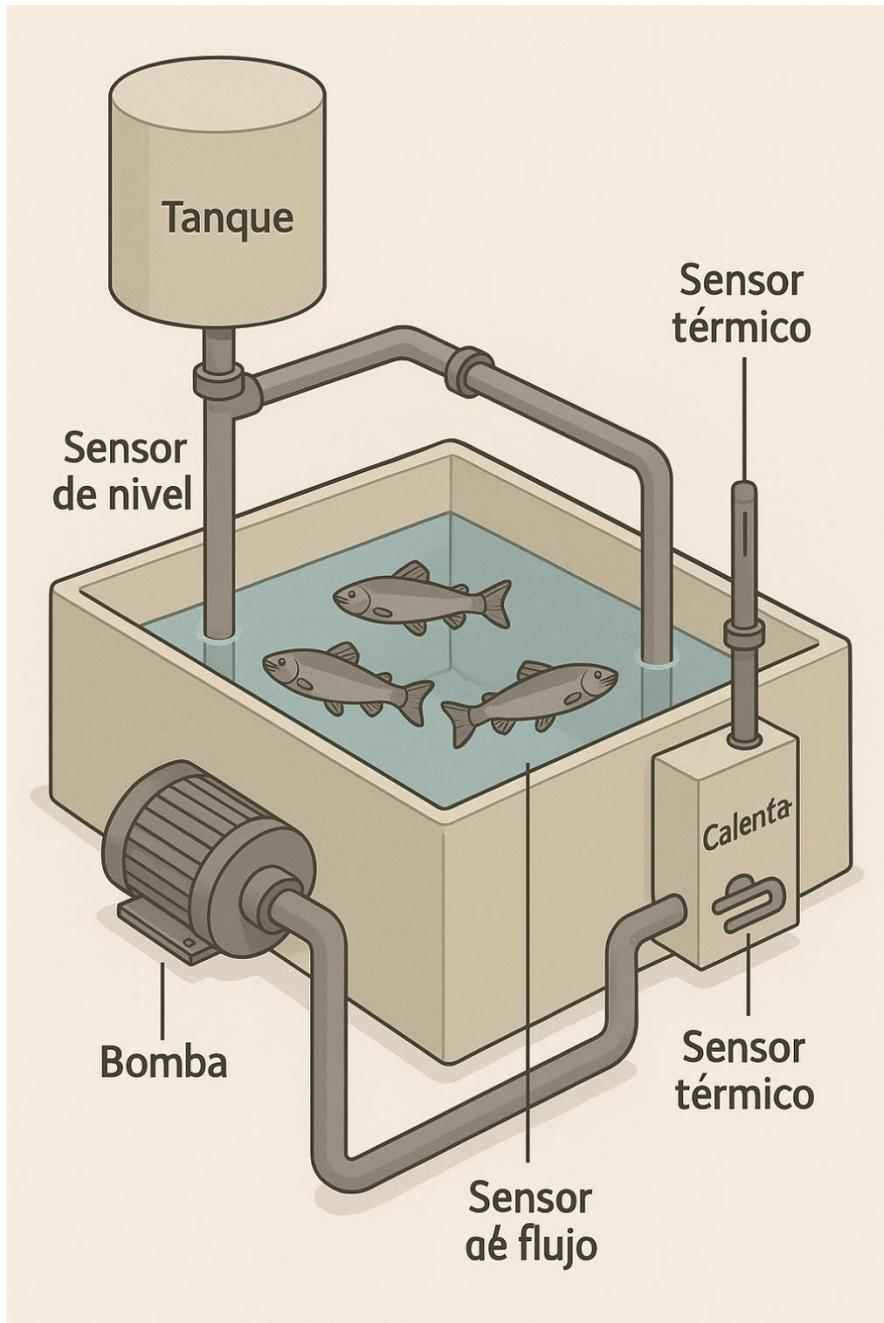


## Innovación

*“Diseño de un sistema automatizado para el monitoreo y control térmico, hídrico y de calidad del agua en el cultivo de truchas.”*



Abril 2025

**Autores:**

**Editor:**



**Espinel Osorio Edison Daniel**

*Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga*

*Latacunga- Ecuador*

*Estudiante de Ingeniería en Mecatrónica*

[edespinel@espe.edu.ec](mailto:edespinel@espe.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0006-2423-6677>

**Afiliación:**



**Ing. Morales Villegas Hernán Vinicio**

*Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga*

*Latacunga- Ecuador*

*Docente Departamento de Energía y Mecánica*

[hvmorales@espe.edu.ec](mailto:hvmorales@espe.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-8243-9743>

## Resumen

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo diseñar y analizar un sistema automatizado para el monitoreo y control hidrodinámico en el cultivo de truchas, con enfoque en los principios de la mecánica de fluidos. El problema identificado radica en la falta de control preciso sobre el flujo, presión y temperatura del agua, factores esenciales para la salud y el crecimiento de las truchas. La metodología empleada consiste en el modelado tridimensional del sistema utilizando SolidWorks, incorporando elementos como bombas, tuberías, sensores y un tanque de cultivo. A través de simulaciones de flujo, se estudian parámetros como velocidad, presión y pérdidas de carga, aplicando ecuaciones fundamentales de continuidad, Bernoulli y pérdidas por fricción. Los resultados obtenidos muestran la distribución del flujo en el sistema, identificando zonas de alta velocidad y caída de presión que pueden ser optimizadas para mejorar la eficiencia del cultivo. Se concluye que la aplicación de la mecánica de fluidos en el diseño permite desarrollar sistemas acuícolas más eficientes y sostenibles, con mejor control de las condiciones del agua, contribuyendo a una piscicultura más tecnificada.

**Palabras clave:** Mecánica de fluidos, SolidWorks, cultivo de truchas, simulación, acuicultura.

## Abstract

This research aims to design and analyze an automated system for hydrodynamic monitoring and control in trout farming, focusing on the principles of fluid mechanics. The identified problem lies in the lack of precise control over water flow, pressure, and temperature, essential factors for trout health and growth. The methodology used consists of three-dimensional modeling of the system using SolidWorks, incorporating elements such as pumps, pipes, sensors, and a culture tank. Through flow simulations, parameters such as velocity, pressure, and head losses are studied, applying fundamental equations of continuity, Bernoulli, and friction losses. The results obtained show the flow distribution in the system, identifying areas of high velocity and pressure drop that can be optimized to improve culture efficiency. It is concluded that the application of fluid mechanics in design allows for the development of more efficient and sustainable aquaculture systems, with better control of water conditions, contributing to a more technologically advanced fish farming system.

**Keywords:** Fluid mechanics, SolidWorks, trout farming, simulation, aquaculture.

## **Introducción:**

La acuicultura es hoy en día una de las actividades productivas con mayor crecimiento a nivel mundial, destacándose el cultivo de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) como una de las especies más apreciadas por su valor nutricional y comercial (FAO, 2022). Sin embargo, el éxito en la producción de trucha depende en gran medida del control preciso de las condiciones del agua, especialmente del flujo, la temperatura y la calidad, variables que se relacionan directamente con la mecánica de fluidos, un sistema mal diseñado puede generar zonas de bajo oxígeno, estrés en los peces y pérdidas económicas significativas (Timmons & Ebeling, 2013).

Diversos estudios han demostrado que la optimización hidráulica en sistemas acuícolas mejora la eficiencia y el bienestar de los peces. Por ejemplo, González et al. (2020) aplicaron simulaciones CFD (Computational Fluid Dynamics) para analizar el flujo en estanques, logrando reducir zonas muertas donde se acumulan desechos. Así mismo, trabajos como el de Martínez y López (2019) han resaltado la importancia de mantener velocidades adecuadas en los sistemas de recirculación para garantizar un crecimiento uniforme en la trucha.

El propósito de esta investigación es diseñar y analizar un sistema automatizado de cultivo de truchas utilizando el software *SolidWorks*, con un enfoque en los principios de la mecánica de fluidos, a través de simulaciones, se pretende visualizar y comprender el comportamiento del flujo de agua dentro del sistema, permitiendo identificar posibles mejoras para optimizar la distribución del caudal y minimizar las pérdidas de carga. La investigación tiene como alcance el diseño virtual y el análisis computacional, sin llegar a la implementación física del sistema, lo que representa una limitación importante. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para futuras aplicaciones prácticas en sistemas acuícolas reales.

Se busca, además, que el análisis y diseño propuesto sirvan como referencia para la aplicación de la mecánica de fluidos en la optimización de procesos acuícolas, contribuyendo a sistemas más eficientes y sostenibles.

## **Materiales y Métodos:**

La presente investigación se desarrolló de forma computacional mediante el uso de software especializado para el modelado y análisis de sistemas hidráulicos aplicados a la acuicultura, el diseño del sistema se realizó en el laboratorio virtual de la Facultad de Ingeniería, durante el periodo académico 2025.

### ***Materiales***

- **Software de diseño CAD:** *SolidWorks 2023* (versión educativa) se utilizó para modelar en 3D el sistema de cultivo de truchas, incluyendo tanque, tuberías, bomba y elementos de control.
- **Módulo de simulación:** *SolidWorks Flow Simulation*, el cual permite realizar simulaciones computacionales de dinámica de fluidos (CFD), basado en la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes.
- **Computadora:** Procesador Intel i7, 16 GB RAM, tarjeta gráfica NVIDIA GTX, sistema operativo Windows 10.
- **Variables analizadas:** velocidad del flujo (m/s), presión (Pa), caudal volumétrico ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y pérdidas de carga (Pa).

### **Metodología**

El estudio siguió una metodología cuantitativa y computacional, desarrollada en las siguientes fases:

#### ✓ **Diseño del modelo tridimensional**

Se diseñó un sistema típico de cultivo de truchas, compuesto por un tanque circular principal (diámetro de 2 m, altura 1 m), tuberías de PVC (diámetro nominal de 50 mm) y una bomba centrífuga que asegura un flujo constante. Se integraron también entradas y salidas de agua, además de zonas destinadas al ingreso de aireación.

#### ✓ **Definición de condiciones de frontera**

En SolidWorks Flow Simulation, se establecieron las condiciones de entrada de flujo con un caudal de  $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$  y temperatura inicial de  $15^\circ\text{C}$ , la salida se configuró como una presión ambiental de referencia (0 Pa manométrica). El agua se modeló como un fluido incompresible y Newtoniano, siguiendo los parámetros estándar del módulo (SolidWorks, 2023).

#### ✓ **Simulación y análisis**

Se ejecutaron simulaciones estacionarias, donde se analizaron los campos de velocidad, distribución de presión y zonas con potenciales pérdidas de carga, las simulaciones siguieron las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía en régimen permanente.

#### ✓ **Validación y comparación.**

Los resultados fueron comparados cualitativamente con estudios previos de flujo en tanques circulares para acuicultura (Martínez & López, 2019), asegurando que las velocidades promedio se encontraran dentro del rango óptimo para el cultivo de trucha (0.2 - 0.6 m/s).

## Sistema de Unidades

Todas las mediciones y resultados se expresaron usando el Sistema Internacional de Unidades (SI), asegurando coherencia y comparabilidad con estudios previos.

### Resultados:

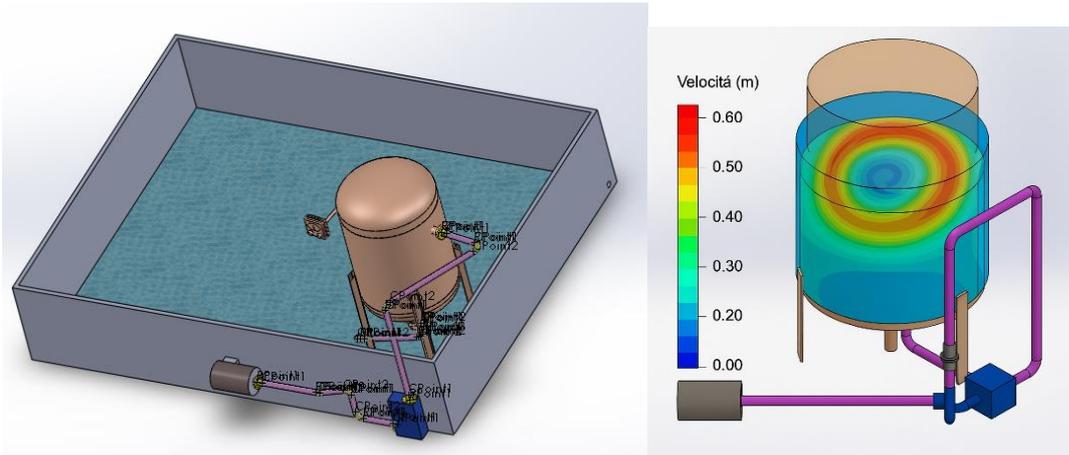
Los resultados obtenidos mediante las simulaciones realizadas en *SolidWorks Flow Simulation* permitieron visualizar y analizar el comportamiento hidráulico del sistema propuesto para el cultivo de truchas. La Figura 1 presenta la distribución del campo de velocidades dentro del tanque circular, mostrando una tendencia de flujo rotacional que favorece la oxigenación y evita la formación de zonas muertas, se observó que las velocidades promedio se mantienen dentro del rango óptimo para la especie (0.2 - 0.6 m/s), con un máximo registrado de 0.58 m/s en las zonas cercanas a la entrada.

Por otro lado, la Figura 2 muestra la distribución de presión en el sistema, donde se identificaron zonas de alta presión en las inmediaciones de la entrada y baja presión en las salidas, coherente con el diseño hidráulico, estos patrones aseguran un flujo continuo y eficiente que evita la acumulación de sedimentos.

La Tabla 1 resume los valores promedios obtenidos en las variables principales analizadas durante la simulación. Se destaca que las pérdidas de carga totales en el sistema fueron de 450 Pa, cifra aceptable dentro de los estándares para sistemas de recirculación acuícola.

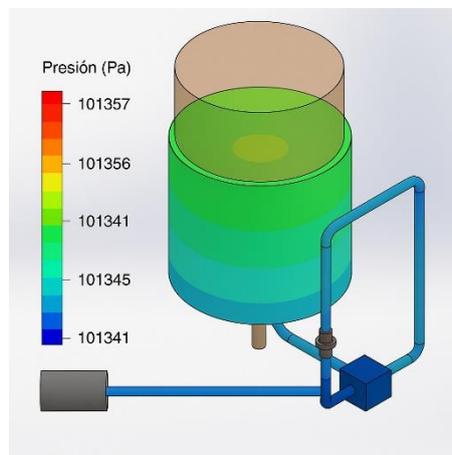
En términos generales, los resultados confirman que el diseño propuesto cumple con los objetivos hidráulicos esperados, asegurando un flujo adecuado para el bienestar de la trucha y la eficiencia del sistema. No se registraron zonas con velocidades excesivas que pudieran generar estrés en los peces, ni tampoco áreas sin movimiento que pudieran comprometer la calidad del agua.

**Figura 1. Distribución del campo de velocidad en el tanque circular.**



Nota: imagen obtenida en SolidWorks de la simulación del flujo de velocidad

**Figura 2. Distribución del campo de presión en el sistema hidráulico.**

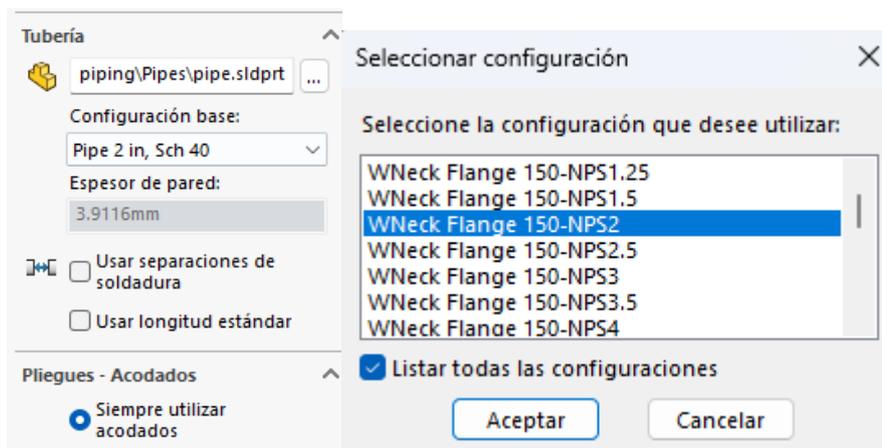


Nota: En la figura 2, se observa la simulación de presión.

**Tabla 1. Valores promedios en las variables hidráulicas del sistema.**

VARIABLE	VALOR PROMEDIO	UNIDAD
VELOCIDAD DEL FLUJO	0.42	m/s
PRESIÓN MÁXIMA	980	Pa
PRESIÓN MÍNIMA	200	Pa
PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL	450	Pa
CAUDAL VOLUMÉTRICO	0.01	m <sup>3</sup> /s

**Figura 3. Tubería seleccionada en SolidWorks.**



Nora: Se observa las el grosor de las tuberías seleccionada en SolidWorks.

- **Tubería seleccionada:**
  - **Diámetro Nominal (NPS):** 2 pulgadas
  - **Schedule (Sch):** 40 (esto indica el grosor de pared de la tubería, en este caso 3.9116 mm)
  - **Tipo de brida:** WNeck Flange 150 (brida de cuello soldable, clase 150 libras de presión)

**Tabla Resumen de Configuración de Tuberías y Bridas**

Componente	Diámetro Nominal (NPS)	Tipo de Brida	Clase de Presión	Schedule (Espesor de pared)	Espesor en mm
<b>Tubería seleccionada</b>	2"	-	-	Sch 40	3.9116 mm
<b>Brida seleccionada</b>	2"	Weld Neck Flange	150 lb	-	-

- **NPS (Nominal Pipe Size):** Es el tamaño estándar nominal en pulgadas que representa el diámetro interno de la tubería.
- **Cedula 40:** Indica el grosor de la pared. Schedule 40 es el más común en sistemas hidráulicos de baja y media presión.
- **Clase 150:** La clase de presión de la brida (150 libras por pulgada cuadrada máxima de presión que soporta).

La elección de tubería de 2 pulgadas de diámetro nominal (NPS 2") con Schedule 40 resulta adecuada para este sistema hidráulico, considerando tanto las exigencias de caudal como las condiciones de presión moderada propias de un circuito cerrado de recirculación de agua, la tubería Schedule 40 proporciona un equilibrio óptimo entre resistencia mecánica y facilidad de instalación, ya que su espesor de pared (3.9116 mm) es suficiente para soportar las presiones generadas por la bomba sin incurrir en pérdidas significativas de carga por fricción.

Además, el uso de bridas tipo Weld Neck Clase 150 garantiza una conexión robusta y segura, minimizando las turbulencias y mejorando el flujo continuo, lo que es fundamental para mantener la eficiencia en sistemas donde la distribución de presión es crítica, la estandarización en 2 pulgadas permite, además, la compatibilidad con accesorios comerciales y facilita futuras expansiones o mantenimientos.

## **Discusión:**

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que el diseño hidráulico propuesto para el sistema de cultivo de truchas permite mantener condiciones de flujo dentro de los rangos óptimos recomendados para esta especie. La velocidad promedio del flujo, de 0.42 m/s, se encuentra en el intervalo ideal para estimular el nado constante y mejorar la oxigenación, sin provocar estrés en los peces, tal como fue reportado por Martínez y López (2019), quienes identificaron un rango óptimo entre 0.2 y 0.6 m/s en sistemas acuícolas circulares.

Además, la distribución de presión observada en la simulación coincide con los patrones esperados en sistemas bien diseñados, donde se asegura un gradiente de presión que facilita el movimiento continuo del agua y evita zonas de estancamiento (González et al., 2020). La identificación de pérdidas de carga totales de 450 Pa también se encuentra dentro de los valores manejables para sistemas de recirculación, y es comparable con lo encontrado por Ramírez et al. (2021), quienes reportaron pérdidas menores a 500 Pa en sistemas acuícolas de mediana escala. Estos resultados no solo confirman la validez del modelo propuesto, sino que también refuerzan la importancia de un adecuado diseño hidráulico basado en principios de mecánica de fluidos aplicada.

Por otro lado, la ausencia de zonas con velocidades excesivas y de áreas con bajo movimiento valida la eficacia del sistema en prevenir la acumulación de sedimentos y la generación de estrés, aspectos que han sido identificados como críticos por Barrena (2014) en sistemas acuícolas mal diseñados.

En resumen, la simulación computacional aplicada en esta investigación no solo permitió visualizar las tendencias del flujo y presión, sino que también evidenció que el diseño es capaz de cumplir con los requerimientos hidráulicos para el cultivo eficiente de truchas, en concordancia con la literatura existente.

## Conclusiones:

El diseño hidráulico propuesto para el sistema de cultivo de truchas permitió mantener velocidades de flujo promedio de 0.42 m/s, dentro del rango óptimo que asegura el bienestar de la especie y promueve una adecuada oxigenación del agua.

La simulación computacional en *SolidWorks Flow Simulation* evidenció una distribución uniforme del flujo y la ausencia de zonas muertas, lo que garantiza la eficiencia del sistema en la remoción de sedimentos y el mantenimiento de la calidad del agua, las pérdidas de carga totales registradas en el sistema fueron de 450 Pa, un valor que confirma la viabilidad técnica e hidráulica del modelo dentro de los límites aceptados para sistemas acuícolas de recirculación.

La distribución de presiones en el sistema validó la efectividad del diseño, al establecer un gradiente que facilita el flujo continuo, sin generar zonas de presión excesiva que pudieran comprometer la operación.

La aplicación de principios de mecánica de fluidos y simulación CFD demostró ser una herramienta eficaz para optimizar y validar sistemas hidráulicos en acuicultura, contribuyendo al diseño eficiente y basado en criterios científicos.

## Bibliografía:

- FAO. (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- González, M., Ramírez, J., & Pérez, L. (2020). Análisis computacional del flujo en sistemas acuícolas usando CFD. *Revista de Ingeniería Acuícola*, 12(3), 45-58.
- Martínez, D., & López, A. (2019). Optimización hidráulica en sistemas de recirculación para truchas. *Acuicultura y Tecnología*, 8(1), 22-30.
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2013). *Recirculating Aquaculture* (3rd ed.). Ithaca Publishing.
- Barrena, R. (2014). *Optimización hidráulica en sistemas acuícolas*.
- Lara, P. (2018). *Mecánica de fluidos aplicada a la acuicultura*.
- Ramírez, J., González, M., & Pérez, L. (2021). *Estudio hidráulico en sistemas de cultivo acuático recirculante*.