

# **Sistema IoT para la automatización del cuidado de peces en acuarios**

Luis Miguel Amaya Fernández

Asesor

William Alexander Cuevas Carrero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias, Básicas, Tecnología e Ingenierías ECBTI

Ingeniería Electrónica

2026

**Nota de Aceptación**

---

Nombre Director de Trabajo de Grado

---

Jurado

---

Jurado

### **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi vida académica.

A mi familia, especialmente a mis padres, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y por ser el pilar fundamental en mi formación personal y profesional. Gracias por creer en mí en cada momento y por motivarme a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A todas las personas que, de una u otra forma, han estado presentes en este proceso, aportando ánimo, comprensión y acompañamiento a lo largo de este camino.

Finalmente, dedico este logro a mí mismo, como resultado del esfuerzo, la disciplina y la constancia invertidos para alcanzar esta meta.

## **Agradecimientos**

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por brindarme la oportunidad de formarme como profesional en Ingeniería Electrónica y por proporcionar los recursos académicos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

A mis docentes, quienes a lo largo de la carrera compartieron sus conocimientos, contribuyendo significativamente a mi formación académica y profesional.

A mi familia, por su apoyo constante, comprensión y motivación durante todo este proceso, siendo un soporte fundamental en cada etapa de mi formación.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, directa o indirectamente, hicieron parte de este proyecto y aportaron de alguna manera a su desarrollo y finalización.

## Resumen

El presente proyecto desarrolla un prototipo de sistema IoT para la automatización del cuidado de peces en acuarios domésticos, con el propósito de optimizar la supervisión y el control de los parámetros del agua y la alimentación de los peces. El sistema está conformado por sensores encargados de medir variables como la temperatura y el pH, conectados a un microcontrolador ESP32, el cual procesa y transmite los datos hacia la nube para su monitoreo y análisis en tiempo real. Además, se implementa un alimentador automático controlado por el ESP32, que suministra comida según un horario preconfigurado. Este sistema permite recibir alertas tempranas y realizar un seguimiento continuo del estado del acuario, contribuyendo al bienestar de los peces. Finalmente, se lleva a cabo la implementación del prototipo para validar su efectividad en el control de variables y la dosificación de alimento.

El proyecto se articula con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la ONU, al integrar tecnología e innovación en favor del bienestar ambiental y social. En particular, se relaciona estrechamente con el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, mediante la aplicación de tecnologías IoT para la automatización y modernización de sistemas domésticos. De esta manera, se contribuye al desarrollo de soluciones sostenibles e inteligentes que favorecen la gestión responsable de los ecosistemas acuáticos y promueven prácticas alineadas con la sostenibilidad global.

**Palabras clave:** IoT (Internet de las cosas), Automatización, Monitoreo de parámetros, Acuario, Peces.

## Abstract

This project develops a prototype IoT system for automating fish care in home aquariums, with the goal of optimizing the monitoring and control of water parameters and fish feeding. The system consists of sensors that measure variables such as temperature and pH, connected to an ESP32 microcontroller, which processes and transmits the data to the cloud for real-time monitoring and analysis. Additionally, an automatic feeder controlled by the ESP32 is implemented, delivering food according to a preconfigured schedule. This system provides early alerts and continuous monitoring of the aquarium's status, contributing to fish well-being. Finally, the prototype is implemented to validate its effectiveness in controlling variables and feeding dosage.

The project aligns with the 17 Sustainable Development Goals (ODS) proposed by the ONU, by integrating technology and innovation for environmental and social well-being. In particular, it is closely related to ODS 9: Industry, Innovation, and Infrastructure, through the application of IoT technologies for the automation and modernization of domestic systems. In this way, it contributes to the development of sustainable and intelligent solutions that favor the responsible management of aquatic ecosystems and promote practices aligned with global sustainability.

**Keywords:** IoT (Internet of Things), Automation, Parameter Monitoring, Aquarium, Fish.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	11
Planteamiento del Problema .....	13
Justificación .....	15
Objetivos .....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos .....	17
Marco Conceptual y Teórico .....	18
Marco Conceptual.....	18
Marco Teórico .....	23
Metodología .....	27
Enfoque de la Investigación.....	27
Tipo de Investigación.....	27
Diseño Metodológico .....	27
Consideraciones Éticas .....	28
Diseño de la Solución .....	29
Fase 1 – Concepción .....	29
Identificación de la Necesidad.....	29
Requerimientos del Sistema .....	30
Requerimientos Funcionales.....	30
Requerimientos no Funcionales.....	31
Variables a Monitorear .....	31

Propuesta Tecnológica.....	32
Fase 2 – Diseño .....	34
Selección de Componentes y Arquitectura del Sistema .....	34
Diseño Esquema Electrónico.....	40
Diseño Modulo DAQ (Data Acquisition).....	42
Diseño del Algoritmo de Control .....	44
Diseño Módulo de Visualización y Control .....	47
Diseño de la Integración del Sistema IoT.....	49
Fase 3 – Implementación.....	51
Construcción del Prototipo Físico .....	51
Integración de Sensores y Módulos de Actuación .....	53
Configuración de la Plataforma en la Nube .....	54
Calibración de Sensores .....	56
Calibración del Sensor de Temperatura.....	56
Calibración del Sensor de pH .....	58
Fase 4 – Operación y Validación .....	60
Condiciones de Operación del Sistema .....	60
Validación de la Adquisición de Datos .....	60
Validación de la Comunicación y Monitoreo Remoto .....	61
Validación del Sistema de Control.....	62
Pruebas de Operación Continua y Análisis de Desempeño.....	63
Conclusiones.....	65
Referencias Bibliográficas .....	67

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Comparación de Sensores de Temperatura</i> .....	35
<b>Tabla 2</b> <i>Comparación de Sensores de pH.</i> .....	36
<b>Tabla 3</b> <i>Comparación de Microcontrolador</i> .....	37
<b>Tabla 4</b> <i>Comparación de Plataformas de Visualización de Datos en la Nube.</i> .....	38

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Internet de las Cosas (IoT)</i> .....	18
<b>Figura 2</b> <i>Calidad de Agua en Acuarios</i> .....	19
<b>Figura 3</b> <i>Microcontrolador</i> .....	20
<b>Figura 4</b> <i>Dispensador Automático de Alimento para Peces.</i> .....	21
<b>Figura 5</b> <i>Sensores de Monitoreo de Parámetros en Agua.</i> .....	22
<b>Figura 6</b> <i>Propuesta Tecnológica</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Diseño Esquemático Electrónico.</i> .....	41
<b>Figura 8</b> <i>Diseño PCB KiCad</i> .....	42
<b>Figura 9</b> <i>Diseño Modulo DAQ (Data Acquisition)</i> .....	44
<b>Figura 10</b> <i>Diseño Algoritmo de Control.</i> .....	46
<b>Figura 11</b> <i>Interfaz de Visualización y Control Utilizando Blynk.</i> .....	48
<b>Figura 12</b> <i>Diseño de la Integración del Sistema IoT.</i> .....	50
<b>Figura 13</b> <i>Construcción Circuito de Control.</i> .....	52
<b>Figura 14</b> <i>Integración de Sensores y Actuadores con la Tarjeta de Control</i> .....	53
<b>Figura 15</b> <i>Configuración de la Plataforma Blynk.</i> .....	55
<b>Figura 16</b> <i>Calibración sensor temperatura DS18B20</i> .....	57
<b>Figura 17</b> <i>Calibración Sensor Ph-4502C Solución pH 4.00</i> .....	58
<b>Figura 18</b> <i>Calibración Sensor Ph-4502C Solución pH 6.86</i> .....	59
<b>Figura 19</b> <i>Grafica Histórico Datos Sensor Temperatura y Ph</i> .....	61
<b>Figura 20</b> <i>Validación Comunicación Utilizando Monitor Serie Arduino</i> .....	62
<b>Figura 21</b> <i>Dosificador de Alimento</i> .....	63
<b>Figura 22</b> <i>Sistema IoT para la Automatización del Cuidado de Peces en Acuarios.</i> .....	64

## Introducción

La ingeniería moderna demanda el diseño de soluciones tecnológicas capaces de responder a problemáticas reales desde un enfoque sostenible, innovador y socialmente responsable. En este contexto, los sistemas basados en el Internet de las Cosas (IoT) se han consolidado como una herramienta fundamental para la automatización y el control inteligente de diversos entornos, permitiendo la supervisión remota, la toma de decisiones basadas en datos y la optimización de recursos.

El presente proyecto se orienta al desarrollo de un sistema IoT para la automatización del cuidado de peces en acuarios domésticos, aplicando la metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar) como eje estructural del proceso formativo y técnico. Esta metodología permite abordar el ciclo completo del proyecto, desde la identificación de la necesidad hasta la puesta en funcionamiento del prototipo, fortaleciendo las competencias de diseño, innovación y aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Electrónica.

La problemática surge de la dificultad que enfrentan muchos propietarios de acuarios para mantener condiciones adecuadas de temperatura, pH y alimentación de los peces, factores esenciales para la estabilidad del ecosistema acuático. Ante esta situación, el proyecto propone una solución automatizada y conectada a la nube, basada en sensores y microcontroladores ESP32, que permite monitorear los parámetros del agua en tiempo real y controlar un sistema de alimentación programada. De esta manera, se busca garantizar el bienestar de los peces, reducir la intervención manual y optimizar los procesos de mantenimiento.

El trabajo también se enmarca dentro del compromiso global con la sostenibilidad, al articularse con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas. En particular, se relaciona estrechamente con el ODS 9: Industria,

Innovación e Infraestructura, al fomentar la aplicación de tecnologías emergentes para la modernización de sistemas domésticos y la promoción de prácticas responsables con el medio ambiente. Asimismo, el proyecto contribuye indirectamente a otros ODS, como el ODS 12: Producción y consumo responsables y el ODS 14: Vida submarina, al promover un manejo más consciente y eficiente de los ecosistemas acuáticos.

En conjunto, esta propuesta representa una integración entre la innovación tecnológica, la sostenibilidad y la formación académica aplicada, demostrando cómo la ingeniería puede generar soluciones concretas que impacten positivamente en el entorno y en la calidad de vida de las personas.

## Planteamiento del Problema

El uso de acuarios domésticos como elemento decorativo continúa siendo una práctica en crecimiento a nivel mundial; de acuerdo con la organización Global Growth Insights (2023), este mercado alcanzó un valor de 624,1 millones de dólares, lo que evidencia un interés sostenido por esta práctica. No obstante, detrás de este auge se presenta una problemática significativa relacionada con el bienestar y la supervivencia de los peces ornamentales en estos entornos.

El mantenimiento adecuado de un acuario doméstico representa un desafío constante para los propietarios, debido a la necesidad de controlar múltiples variables fisicoquímicas que garantizan la estabilidad del ecosistema acuático. Según Boyd (2018), parámetros como la temperatura, el pH y la concentración de oxígeno disuelto deben mantenerse dentro de rangos específicos, ya que incluso pequeñas variaciones pueden alterar los procesos metabólicos de los peces y afectar el equilibrio biológico del sistema. De manera complementaria, Hargreaves y Tucker (2004) advierten que la acumulación de sustancias como el amoníaco o el dióxido de carbono puede generar condiciones tóxicas en el agua, afectando directamente la salud de las especies.

En este contexto, se hace evidente la necesidad de un monitoreo constante y preciso de las condiciones del acuario; sin embargo, en la mayoría de los hogares esta tarea se realiza de forma manual y esporádica, lo que limita la capacidad de reacción ante cambios bruscos en los parámetros del agua. A esta situación se suma que muchos cuidadores carecen del conocimiento técnico necesario o de herramientas accesibles que faciliten la supervisión adecuada del ecosistema acuático, lo que conlleva a prácticas ineficientes de mantenimiento.

Por otra parte, el bienestar de los peces no depende únicamente de la calidad del agua, sino también de una adecuada dosificación del alimento; en este sentido, la sobrealimentación o

la administración irregular de comida son causas frecuentes de estrés y mortalidad en peces de acuario (Animales de Compañía, 2024). Asimismo, el Hospital Veterinario Benipeixcar (2025) señala que la falta de hábitos de monitoreo y el desconocimiento de las necesidades específicas de cada especie contribuyen al deterioro progresivo del entorno acuático.

Como consecuencia de estas deficiencias en el monitoreo y mantenimiento, diversos estudios han evidenciado que una alta proporción de los peces adquiridos para acuarios domésticos mueren durante las primeras semanas de vida en cautiverio; se estima que hasta un 60 % de los peces vendidos fallecen dentro de los primeros ocho días, lo cual representa no solo pérdidas económicas para los propietarios, sino también un impacto ético y ambiental significativo.

Adicionalmente, el costo de los sistemas automatizados de monitoreo suele percibirse como elevado frente al valor comercial de los peces, lo que limita su adopción en entornos domésticos; en este contexto, surge la necesidad de diseñar e implementar soluciones tecnológicas de bajo costo que permitan mejorar la supervisión de los acuarios domésticos, facilitando el monitoreo continuo de sus condiciones y reduciendo la intervención manual.

En consecuencia, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo monitorear de forma eficiente las condiciones básicas de acuarios en entornos domésticos mediante el diseño e implementación de tecnologías IoT que permitan la supervisión remota de los parámetros del agua?

## Justificación

La supervisión y el mantenimiento de acuarios domésticos son actividades que requieren atención constante y conocimientos técnicos básicos sobre los parámetros fisicoquímicos del agua. Sin embargo, muchos propietarios carecen del tiempo o los medios necesarios para garantizar un control adecuado, lo que genera condiciones inestables que afectan la salud de los peces. Este problema, además de ser común en el ámbito doméstico, representa una oportunidad para aplicar los conocimientos de la ingeniería electrónica al desarrollo de soluciones automatizadas que optimicen estas tareas.

Desde el ámbito académico y disciplinario, el proyecto constituye un espacio de aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en el programa de Ingeniería Electrónica, especialmente en áreas como sonorización, control automático, comunicaciones y sistemas embebidos. A través del enfoque CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar), se busca fortalecer competencias en diseño, innovación y desarrollo tecnológico, permitiendo que el estudiante asuma un rol activo en la creación de soluciones reales a problemas cotidianos.

El desarrollo de un sistema IoT (Internet de las Cosas) orientado al monitoreo y la automatización del cuidado de peces permite integrar hardware, software y servicios en la nube para el control remoto de parámetros críticos como la temperatura y el pH del agua, además de integrar el control de dosificado de alimento para los peces.

Desde una perspectiva técnica y normativa, el proyecto se alinea con los principios establecidos por la Organización Mundial de Sanidad Animal (2021) en su *Código Sanitario para los Animales Acuáticos*, el cual promueve la supervisión y el control de la calidad del agua para garantizar el bienestar de las especies en cautiverio. Asimismo, se encuentra en concordancia con las recomendaciones de la Unión Internacional para la Conservación de la

Naturaleza (UICN, 2014), que subraya la importancia de aplicar tecnologías de monitoreo para la preservación de especies acuáticas.

En el plano ético y social, el sistema propuesto contribuye al cumplimiento de la Ley 1774 de 2016 del Congreso de Colombia, que reconoce a los animales como seres sintientes y establece medidas para su protección contra el maltrato. La automatización del cuidado de peces fomenta prácticas responsables en la tenencia de animales y promueve un vínculo más consciente entre los propietarios y su entorno natural.

Además, el proyecto se articula con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU, especialmente con el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, al promover la modernización de sistemas domésticos mediante tecnologías emergentes. De igual forma, guarda relación el ODS 14: Vida submarina, al incentivar el uso racional de recursos y la conservación de ecosistemas acuáticos.

En síntesis, este proyecto representa una convergencia entre la innovación tecnológica, la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad social. Su desarrollo no solo aporta una solución funcional a una problemática cotidiana, sino que también refuerza la formación profesional del ingeniero electrónico bajo los principios del enfoque CDIO y en coherencia con los lineamientos de los ODS, demostrando cómo la tecnología puede ponerse al servicio del bienestar animal y la preservación ambiental.

## Objetivos

### Objetivo General

Desarrollar un prototipo de sistema IoT para la automatización del cuidado de peces en acuarios domésticos, optimizando la supervisión y el control de los parámetros de agua y su alimentación.

### Objetivos Específicos

Diseñar el sistema IoT con sensores para medir parámetros como la temperatura y el pH del agua, con el fin de monitorear las condiciones del acuario de manera remota de acuarios domésticos.

Desarrollar una plataforma en la nube que gestione la recopilación de datos provenientes de los sensores, los almacene de manera segura y permita la visualización y análisis remoto de los parámetros del acuario.

Implementar un alimentador automático articulado con el sistema IoT, que proporcione comida a los peces de acuerdo con un horario programado, garantizando una dosificación precisa y controlada.

Evaluar el funcionamiento del prototipo en un entorno real controlado, verificando la efectividad durante el monitoreo de las variables del agua y la dosificación de alimento.

## Marco Conceptual y Teórico

### Marco conceptual

#### *Internet de las Cosas (IoT)*

El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) hace referencia a la interconexión de dispositivos físicos a través de internet, lo que permite la recopilación y el intercambio de datos en tiempo real (Atzori, Iera & Morabito, 2010); esta tecnología ha encontrado aplicación en diversos ámbitos, tales como la automatización del hogar, el sector salud y la supervisión ambiental. Asimismo, gracias a su capacidad para almacenar y analizar información en la nube, los usuarios pueden recibir alertas y tomar decisiones más informadas en relación con el mantenimiento de sus acuarios (Gubbi, Buyya, Marusic & Palaniswami, 2013).

#### **Figura 1**

##### *Internet de las Cosas (IoT)*



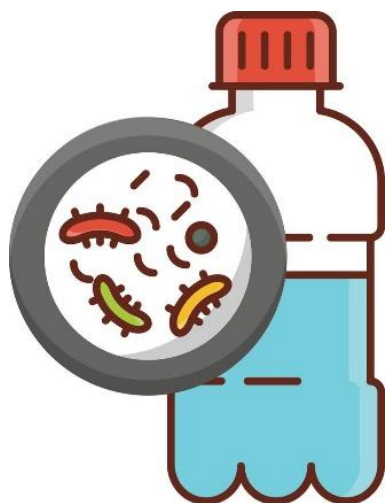
*Nota.* Imagen ilustrativa de entorno IoT. Tomado de Iniciativas brasileñas de internet de las cosas (IoT), Na Prática, (s.f.), <https://www.napratica.org.br/iniciativas-brasileiras-de-internet-das-coisas-iot/>

### ***Calidad del Agua en Acuarios***

La calidad del agua en acuarios comprende un conjunto de parámetros fisicoquímicos y biológicos que determinan el bienestar de los organismos acuáticos; entre estos, se destacan la temperatura, el pH, la dureza, el oxígeno disuelto y la concentración de compuestos como el amoníaco (Boyd, 2018). En consecuencia, cualquier alteración en estos factores puede generar estrés, enfermedades e incluso la muerte de los peces, por lo que resulta fundamental realizar un control periódico y adecuado. De igual manera, la implementación de dispositivos de monitoreo permite mantener condiciones estables dentro del ecosistema acuático y prevenir desequilibrios (Hargreaves & Tucker, 2004).

### **Figura 2**

#### *Calidad de Agua en Acuarios*



*Nota.* Imagen ilustrativa de calidad de agua. Tomado de *Water Quality Monitoring Concept*

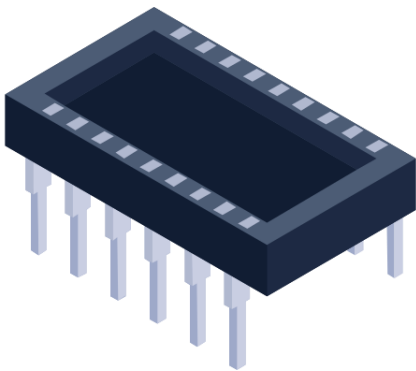
*Illustration*, por Vecteezy, (s.f.), <https://www.vecteezy.com/>

### ***Microcontroladores en Sistemas IoT***

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que funciona como la unidad de procesamiento de un sistema embebido; su principal función consiste en recibir, procesar y transmitir información a través de diferentes interfaces de comunicación (Esparza, 2020). Dentro del contexto del IoT, los microcontroladores como el ESP32 han ganado popularidad debido a su conectividad WiFi y Bluetooth, su bajo consumo energético y su capacidad de procesamiento eficiente. Su versatilidad lo hace adecuado para aplicaciones en domótica, monitoreo ambiental y control de dispositivos en tiempo real (Lee & Lee, 2015).

### **Figura 3**

#### *Microcontrolador*



*Nota.* Imagen ilustrativa de microcontrolador. Elaboración propia basada en recursos gráficos de libre uso.

### *Alimentación Automatizada en Acuarios*

La alimentación automatizada en acuarios se refiere al uso de dispositivos programables que permiten suministrar alimento a los peces sin intervención humana directa; de esta manera, es posible establecer horarios y cantidades específicas, evitando problemas asociados tanto a la sobrealimentación como a la subalimentación. En este sentido, una dosificación inadecuada puede provocar la acumulación de residuos orgánicos y el deterioro de la calidad del agua, lo que afecta directamente el equilibrio del ecosistema acuático (Timmons & Ebeling, 2013).

#### **Figura 4**

##### *Alimentador Automático de Alimento para Peces*



*Nota.* Imagen ilustrativa de dispositivo electrónico. Tomado de *Alimentador inteligente con temporizador y dispensador automático de alimentación*, por Amazon México (s.f.),

<https://www.amazon.com.mx/alimentador-inteligente-temporizador-dispensador-alimentaci%C3%B3n/dp/B09VS6T7SV>

### ***Sensores de Monitoreo en Acuarios***

Los sensores de monitoreo en acuarios son dispositivos diseñados para medir parámetros ambientales y químicos del agua, tales como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto y los niveles de amoníaco, entre otros; gracias a estos, es posible obtener información en tiempo real sobre la calidad del agua y el bienestar de los peces, facilitando la detección temprana de posibles alteraciones en el ecosistema acuático (Chen, Yang, & Liu, 2019). En este contexto, la integración de sensores en sistemas IoT ha permitido automatizar el monitoreo, optimizando las labores de mantenimiento y reduciendo la intervención manual; además, su uso contribuye a la conservación de especies en acuarios domésticos y comerciales, al garantizar condiciones adecuadas para su desarrollo (Saxby, Adams, & Snellgrove, 2010).

### **Figura 5**

#### *Sensores de Monitoreo de Parámetros en Agua*



*Nota.* Imagen ilustrativa de instrumentos de medición. Tomado de *Measuring Instruments and Laboratory Equipment*, por Shutterstock, (s.f.), [https://www.shutterstock.com/es/search/sensor-agua?image\\_type=illustration](https://www.shutterstock.com/es/search/sensor-agua?image_type=illustration)

## Marco Teórico

El desarrollo de sistemas basados en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo de ecosistemas acuáticos ha crecido notablemente en los últimos años, especialmente en la acuicultura y piscicultura. La integración de sensores, microcontroladores y conectividad inalámbrica ha permitido supervisar en tiempo real variables como temperatura, pH, oxígeno disuelto y nivel del agua, reduciendo la intervención manual y mejorando la toma de decisiones. Estos avances constituyen antecedentes relevantes para el diseño de sistemas automatizados aplicados al cuidado de peces.

En este sentido, el funcionamiento adecuado de un acuario doméstico depende directamente del control de las condiciones físico-químicas del agua, que determinan el equilibrio del ecosistema y la salud de las especies que lo habitan. Diversos autores coinciden en que los parámetros más relevantes son la temperatura, el pH, la dureza del agua y los niveles de amoníaco, nitritos y nitratos, los cuales deben mantenerse dentro de rangos específicos según la especie (Boyd, 2018; Hargreaves & Tucker, 2004).

De acuerdo con Boyd (2018), la temperatura es uno de los factores más críticos en el mantenimiento de acuarios, ya que influye en la tasa metabólica de los peces, la solubilidad del oxígeno y la actividad bacteriana. Para la mayoría de las especies tropicales, se recomienda un rango entre 24 °C y 28 °C, mientras que los peces de agua fría, como los goldfish, pueden mantenerse entre 18 °C y 22 °C (American Fisheries Society, 2021); adicionalmente, fluctuaciones bruscas de más de 2 °C pueden generar estrés y aumentar la susceptibilidad a enfermedades.

El pH es otro parámetro esencial que afecta la estabilidad química del agua y la capacidad respiratoria de los peces. Según Hargreaves y Tucker (2004), los valores óptimos

deben mantenerse entre 6.5 y 8.0, dependiendo de la especie y del tipo de agua (dulce o salada); en este sentido, un pH inferior a 6.0 puede aumentar la concentración de metales tóxicos, mientras que valores superiores a 8.5 pueden reducir la disponibilidad de nutrientes esenciales y alterar la flora bacteriana del filtro biológico. Asimismo, los niveles de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) deben mantenerse por debajo de 0.02 mg/L y 0.1 mg/L, respectivamente, ya que estos compuestos resultan tóxicos incluso a bajas concentraciones (Timmons & Ebeling, 2010).

En el contexto latinoamericano, Cuenca Luna et al. (2025) presentan el sistema WiFish, publicado en la Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, como una plataforma de monitoreo acuícola basada en IoT y computación en la nube. Este desarrollo incorpora mecanismos de seguridad mediante cifrado AES-128 para garantizar la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos desde los sensores hacia la plataforma cloud. La propuesta destaca por su arquitectura distribuida, su enfoque en la escalabilidad y su aplicación en entornos productivos de acuicultura. El aporte principal de este trabajo radica en demostrar la viabilidad de integrar monitoreo remoto, almacenamiento en la nube y seguridad informática en sistemas acuícolas. No obstante, su orientación está dirigida a explotaciones de mediana y gran escala, lo cual implica requerimientos técnicos y económicos superiores a los de un acuario doméstico. Esta diferencia contextual evidencia la necesidad de adaptar dichas arquitecturas a entornos de menor escala, priorizando bajo costo, facilidad de implementación y simplicidad operativa.

En una línea similar, aunque con un enfoque más aplicado al entorno de piscicultura controlada, Junaedi y Hok Ki (2022), en la revista bit-Tech, desarrollaron un sistema de acuario inteligente basado en IoT para la monitorización de parámetros del agua. Su propuesta integra sensores conectados mediante red inalámbrica que permiten la supervisión remota de variables

ambientales, reduciendo la necesidad de inspección física constante. Los resultados obtenidos evidencian mejoras en la estabilidad de los parámetros y en la eficiencia del monitoreo. Sin embargo, el sistema se centra principalmente en la adquisición y visualización de datos, sin profundizar en mecanismos de automatización activa como la alimentación programada o la generación de respuestas automáticas ante condiciones críticas. Esta limitación abre una oportunidad de investigación orientada a complementar el monitoreo con acciones correctivas automatizadas.

Por su parte, Wijaya y Wellem (2022), en el *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika* (JSON), diseñaron e implementaron un sistema IoT para el monitoreo de temperatura y nivel del agua en acuarios de peces ornamentales. Este trabajo constituye un antecedente directo en el contexto doméstico, ya que aborda específicamente acuarios ornamentales y no sistemas industriales de producción. La propuesta incluye sensores de temperatura y nivel, transmisión inalámbrica de datos y visualización remota, demostrando que es técnicamente viable implementar soluciones IoT de bajo costo en entornos residenciales. No obstante, el alcance del sistema se limita al monitoreo de variables físicas específicas, sin integrar parámetros fisicoquímicos adicionales ni funciones de automatización integral del cuidado del pez.

El análisis de los antecedentes evidencia una tendencia hacia la digitalización de la acuicultura mediante IoT, con incorporación de servicios en la nube y mecanismos de seguridad en la transmisión de datos. No obstante, persiste una brecha entre sistemas industriales de alta complejidad y prototipos académicos centrados únicamente en el monitoreo, donde la automatización de procesos y la adaptación a usuarios domésticos suelen ser limitadas.

En este contexto, el proyecto “Sistema IoT para la automatización del cuidado de peces en acuarios” retoma estos desarrollos y propone una solución más integral orientada al entorno

residencial. A diferencia de WiFish (2025), enfocado en acuicultura productiva, la propuesta prioriza accesibilidad y bajo costo; y frente a los trabajos de Junaedi y Hok Ki (2022) y de Wijaya y Wellem (2022), amplía el alcance al integrar monitoreo y automatización del cuidado, posicionándose como una alternativa intermedia adaptada a acuarios domésticos.

## **Metodología**

### **Enfoque de la Investigación**

El proyecto adopta un enfoque aplicado y de desarrollo tecnológico, centrado en el diseño, construcción e implementación de un prototipo funcional de sistema IoT orientado a la automatización del cuidado de peces en acuarios domésticos. Este enfoque combina elementos de investigación experimental con desarrollo ingenieril, priorizando la validación técnica y operativa del sistema más que la comparación estadística de resultados previos.

### **Tipo de Investigación**

La investigación es de tipo tecnológico–aplicado, ya que busca generar una solución práctica e innovadora a una necesidad identificada: el monitoreo automatizado de parámetros de agua y alimentación en acuarios.

Se estructura bajo la metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar), que guía el proceso de desarrollo del prototipo desde la identificación del problema hasta su validación funcional.

### **Diseño Metodológico**

El proyecto se desarrolla en cuatro fases principales:

#### ***Concepción (Conceive)***

Identificación de la necesidad y análisis de los requerimientos técnicos, seleccionando las variables críticas del acuario (temperatura, pH y alimentación).

#### ***Diseño (Design)***

Elaboración del esquema electrónico, selección de sensores y componentes, diseño de la arquitectura IoT y programación del sistema de control, diseño de plataforma en la nube.

***Implementación (Implement)***

Construcción del prototipo, integración de los sensores y módulos de actuación, y configuración de la plataforma en la nube para el monitoreo en tiempo real.

***Operación y Validación (Operate)***

Pruebas funcionales del sistema para comprobar la captura, transmisión y visualización de datos, así como el funcionamiento del alimentador automático.

En esta etapa se evalúa la efectividad técnica y estabilidad operativa del prototipo, más que la comparación estadística de resultados previos.

**Consideraciones Éticas**

El desarrollo se realiza garantizando el bienestar de los peces, sin provocar estrés o alteraciones en su entorno. Se respetan los principios establecidos en la Ley 1774 de 2016, que reconoce a los animales como seres sintientes y promueve su protección.

## **Diseño de la Solución**

### **Fase 1 – Concepción**

La fase de concepción corresponde al punto de partida del desarrollo del proyecto y tiene como propósito definir claramente la necesidad a resolver, los requerimientos funcionales y técnicos, así como el alcance del prototipo IoT que se implementará.

#### ***Identificación de la Necesidad***

La identificación de las necesidades del sistema se realiza a partir de un enfoque de ingeniería de requerimientos, en el cual se analizan las condiciones del entorno de aplicación, las limitaciones de los métodos tradicionales y las características del usuario final. En concordancia con la fase de concepción del enfoque CDIO, este análisis permite definir las necesidades que orientan el diseño del sistema, asegurando que la solución propuesta responda de manera efectiva a un contexto real de uso.

A partir de este análisis, se identifican las siguientes necesidades fundamentales:

- **Monitoreo Continuo de las Condiciones del Agua:** Se requiere un sistema que permita la supervisión constante de variables críticas, con el fin de detectar oportunamente cambios que puedan afectar el equilibrio del ecosistema acuático.
- **Acceso Remoto a la Información del Acuario:** Es necesario que el usuario pueda consultar en tiempo real el estado del acuario desde cualquier ubicación, facilitando la supervisión sin depender de presencia física constante.
- **Reducción de la Intervención Manual:** Se busca disminuir la dependencia de procesos manuales, los cuales suelen ser irregulares y propensos a errores en el mantenimiento del acuario.

- **Automatización de la Alimentación de los Peces:** Se requiere implementar un mecanismo que permita programar la dosificación de alimento, garantizando una alimentación adecuada y constante.
- **Implementación de una Solución Accesible y de Fácil Uso:** El sistema debe ser viable para entornos domésticos, por lo que se prioriza un diseño de bajo costo y de fácil interacción para el usuario.

Estas necesidades constituyen la base para la definición del sistema propuesto, orientando su desarrollo hacia una solución funcional, accesible y adaptada a las condiciones del entorno doméstico.

### ***Requerimientos del Sistema***

A partir de las necesidades previamente identificadas, se establecen los requerimientos del sistema, los cuales definen las funcionalidades y características que debe cumplir la solución propuesta. Estos se clasifican en requerimientos funcionales (acciones) y no funcionales (condiciones), orientando el desarrollo del sistema hacia una implementación coherente con su propósito.

### **Requerimientos Funcionales**

- **Monitoreo de Variables del Agua:** El sistema debe medir en tiempo real la temperatura y el pH del agua del acuario, permitiendo la supervisión continua de estas variables.
- **Transmisión de Datos:** El sistema debe enviar la información recolectada hacia una plataforma en la nube mediante conexión inalámbrica.
- **Visualización Remota:** El sistema debe permitir al usuario consultar los datos de temperatura y pH en tiempo real a través de una interfaz accesible desde dispositivos móviles.

- Registro de Información: El sistema debe almacenar los datos monitoreados, permitiendo la consulta de valores históricos.
- Automatización de la Alimentación: El sistema debe incorporar un mecanismo que permita programar la dosificación automática de alimento en horarios definidos.

### **Requerimientos no Funcionales**

- Bajo Consumo Energético: El sistema debe operar con un consumo energético eficiente, adecuado para uso continuo en entornos domésticos.
- Precisión de Medición: El sistema debe garantizar mediciones confiables, con una precisión aproximada de  $\pm 0.5$  °C para temperatura y un rango de medición de pH entre 0 y 14.
- Conectividad Estable: El sistema debe mantener una conexión WiFi estable para la transmisión continua de datos hacia la plataforma en la nube.
- Usabilidad: La interfaz de usuario debe ser intuitiva, clara y de fácil interpretación, permitiendo su uso por personas sin conocimientos técnicos avanzados.

En conjunto, estos requerimientos establecen la base para el diseño e implementación del sistema, asegurando su funcionalidad, confiabilidad y adecuación a entornos domésticos.

### ***Variables a Monitorear***

En concordancia con el marco teórico, la selección de las variables a monitorear se enfoca en aquellos parámetros que influyen directamente en el equilibrio del ecosistema acuático. En este sentido, se prioriza la medición de la temperatura y el pH del agua, debido a su impacto sobre los procesos biológicos de los peces y la estabilidad del entorno.

Aunque existen otras variables relevantes, como el oxígeno disuelto o el amoníaco, estas no se incluyen en la implementación del sistema, priorizando aquellas que ofrecen mayor viabilidad técnica en un contexto doméstico. De este modo, se garantiza un monitoreo efectivo

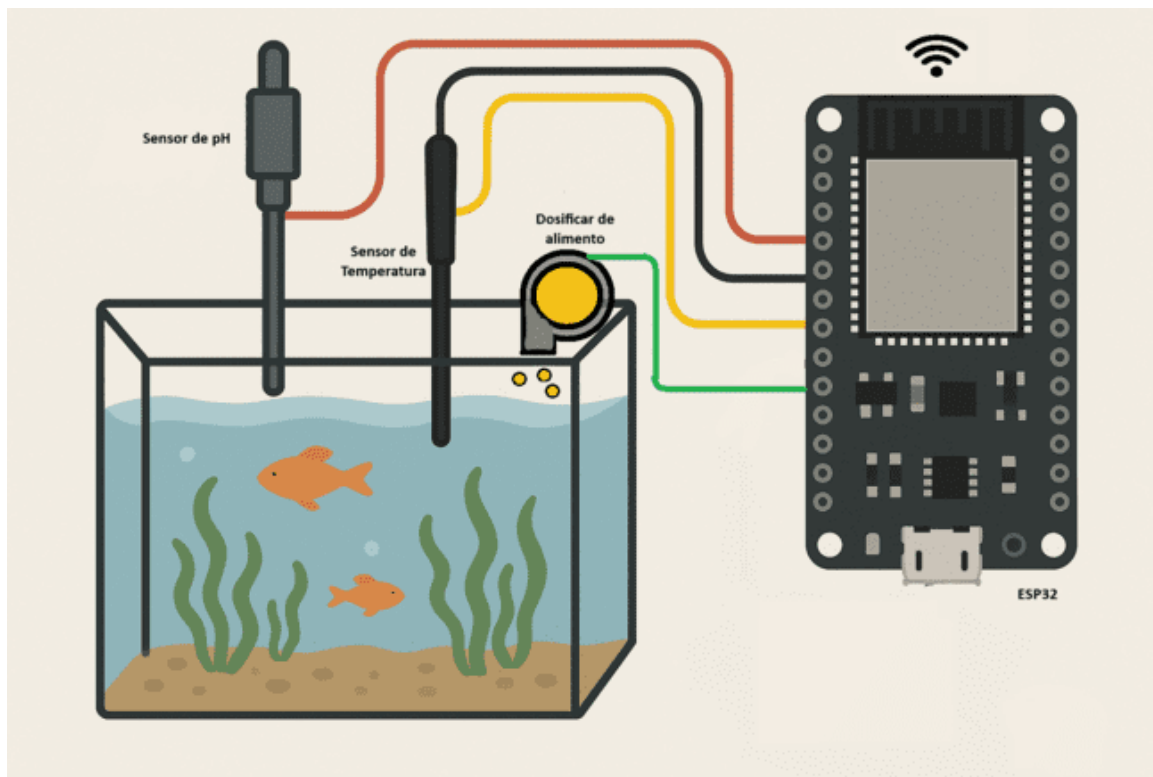
manteniendo un equilibrio entre funcionalidad y simplicidad del sistema.

### ***Propuesta Tecnológica***

Para dar respuesta a las necesidades identificadas, se propone el desarrollo de un sistema basado en tecnologías IoT que integre sensores para la medición de temperatura y pH, un microcontrolador con conectividad inalámbrica y una plataforma en la nube para la visualización de datos.

El sistema permitirá la adquisición y transmisión de información en tiempo real, facilitando la supervisión remota de las condiciones del acuario. Adicionalmente, se incorporará un mecanismo de alimentación automatizada, orientado a programar la dosificación de alimento de forma controlada.

De esta manera, la solución tecnológica planteada combina monitoreo continuo y automatización básica en una arquitectura accesible, adaptable a entornos domésticos y alineada con los requerimientos del sistema.

**Figura 6***Propuesta Tecnológica*

*Nota.* Imagen conceptual de un prototipo de acuario inteligente con integración de tecnologías IoT. Elaboración propia generada mediante inteligencia artificial con el modelo Gemini (Google).

## **Fase 2 – Diseño**

La fase de diseño tiene como objetivo transformar los requerimientos definidos en la fase de concepción en una solución técnica concreta y verificable. Esto implica la selección de componentes, definición de la arquitectura electrónica y de comunicaciones, diseño de algoritmos de control y comunicación, y la preparación de los planos necesarios para la implementación del prototipo. A continuación, se presentan las subactividades que componen esta fase.

### ***Selección de Componentes y Arquitectura del Sistema***

Con base en los resultados obtenidos en la fase de concepción, se validaron las variables principales del sistema, determinadas como temperatura, pH y alimentación automática. Estas fueron elegidas por su incidencia directa en la estabilidad del acuario y el bienestar de los peces. Según Boyd (2018) y Hargreaves y Tucker (2004), los rangos óptimos de operación se establecen entre 24 °C y 28 °C para la temperatura, y 6.5 a 8.0 para el pH, condiciones que aseguran un entorno saludable para especies tropicales, partiendo de esta información se procede a realizar un análisis comparativo de los elementos que se adapten a nuestro requerimiento.

**Tabla 1***Comparación de Sensores de Temperatura*

Referencia Sensor	Ficha Técnica
LM35	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un sensor analógico de temperatura.</li> <li>• Mide en un rango aproximado de -55 °C a +150 °C.</li> <li>• Tiene una precisión de <math>\pm 0.5</math> °C a temperatura ambiente.</li> <li>• Su salida varía 10 mV por cada grado Celsius, lo que facilita la conversión directa a temperatura.</li> <li>• Requiere una entrada analógica en el microcontrolador (ADC).</li> </ul>
DS18B20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor digital de temperatura con comunicación 1-Wire.</li> <li>• Mide de -55 °C a +125 °C con precisión de <math>\pm 0.5</math> °C.</li> <li>• Puede conectarse varios sensores en un solo pin gracias a su bus 1-Wire.</li> <li>• Disponible en versión impermeable, ideal para entornos húmedos o acuáticos.</li> <li>• Entrega datos en formato digital, evitando errores de conversión analógica.</li> </ul>
DHT22	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un sensor digital que mide temperatura y humedad relativa.</li> <li>• Rango de temperatura: -40 °C a +80 °C con precisión de <math>\pm 0.5</math> °C.</li> <li>• Rango de humedad: 0 % a 100 %, con precisión de <math>\pm 2</math> %–5 %.</li> <li>• Entrega los datos en formato digital serial, por lo que no necesita conversión analógica.</li> <li>• Su velocidad de muestreo es relativamente baja (una lectura cada 2 s).</li> </ul>

*Nota.* Tabla comparativa de los posibles sensores de temperatura a utilizar.

**Tabla 2***Comparación de Sensores de pH.*

Referencia sensor	Ficha técnica
Sonda de pH con módulo BNC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor analógico que mide el nivel de acidez o alcalinidad de una solución.</li> <li>• Utiliza una sonda de vidrio conectada a un módulo amplificador con conector BNC.</li> <li>• Rango de medición: 0 a 14 pH, con una precisión de <math>\pm 0.1</math> pH.</li> <li>• Requiere calibración periódica con soluciones estándar.</li> <li>• Es una opción económica y sencilla, ideal para prácticas educativas o proyectos básicos.</li> </ul>
Sensor de pH Atlas Scientific EZO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor digital de alta precisión diseñado para aplicaciones profesionales.</li> <li>• Comunicación mediante UART o I2C, facilitando su integración en sistemas IoT o automatizados.</li> <li>• Rango de medición: 0 a 14 pH, con precisión de <math>\pm 0.002</math> pH.</li> <li>• Incluye calibración automática, compensación de temperatura y excelente estabilidad a largo plazo.</li> <li>• Ideal para laboratorios, acuarios avanzados y control industrial.</li> </ul>
Sensor de pH DFRobot SEN0161-V2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor analógico mejorado para mediciones estables y precisas.</li> <li>• Rango de medición: 0 a 14 pH, con precisión aproximada de <math>\pm 0.1</math> pH.</li> <li>• Integra un módulo de interfaz que amplifica la señal y la hace compatible con microcontroladores como Arduino o ESP32.</li> <li>• De fácil calibración y diseño robusto.</li> <li>• Ideal para acuarios, agricultura hidropónica y monitoreo ambiental.</li> </ul>

*Nota.* Tabla comparativa de los posibles sensores de pH a utilizar.

**Tabla 3***Comparación de Microcontrolador.*

Microcontrolador	Ficha técnica
Arduino UNO R3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega328P.</li> <li>• Dispone de 14 pines digitales (6 pueden usarse como PWM) y 6 entradas analógicas.</li> <li>• Funciona con un voltaje de 5 V y se programa fácilmente mediante el IDE de Arduino.</li> <li>• Es ideal para proyectos educativos y de prototipado rápido debido a su simplicidad y gran compatibilidad con sensores y módulos.</li> <li>• No posee conectividad inalámbrica integrada, aunque puede ampliarse mediante módulos externos como el ESP8266 o Bluetooth HC-05.</li> </ul>
NodeMCU ESP8266	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basado en el chip ESP8266, combina capacidades de microcontrolador y conectividad WiFi integrada.</li> <li>• Opera a 3.3 V y se programa también desde el IDE de Arduino o mediante Lua.</li> <li>• Cuenta con una buena cantidad de pines GPIO, aunque menos que el Arduino UNO.</li> <li>• Es ideal para proyectos IoT que requieren conexión a internet, como monitoreo remoto o automatización del hogar.</li> </ul>
ESP32 DevKit V1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una placa de desarrollo basada en el potente microcontrolador ESP32, con WiFi y Bluetooth integrados.</li> <li>• Dispone de un procesador dual-core, mayor velocidad y más memoria RAM que el ESP8266.</li> <li>• Ofrece numerosos pines GPIO, entradas analógicas, y soporte para sensores digitales, PWM, I2C, SPI y UART.</li> <li>• Funciona a 3.3 V y es compatible con el IDE de Arduino y plataformas como MicroPython.</li> <li>• Es ideal para proyectos IoT avanzados, automatización, monitoreo ambiental y aplicaciones en tiempo real que requieran mayor capacidad de procesamiento.</li> </ul>

---

*Nota.* Tabla comparativa de los posibles microcontroladores a utilizar.

**Tabla 4***Comparación de Plataformas de Visualización de Datos en la Nube.*

Plataforma	Características
Blynk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una plataforma IoT diseñada para controlar y monitorear dispositivos de forma remota desde una aplicación móvil o web.</li> <li>• Permite crear interfaces gráficas interactivas sin necesidad de conocimientos avanzados de programación.</li> <li>• Es compatible con microcontroladores como ESP32, ESP8266 y Arduino.</li> <li>• Utiliza un servidor en la nube para la comunicación entre el hardware y la app.</li> <li>• Ideal para proyectos de automatización doméstica, monitoreo ambiental o control en tiempo real.</li> </ul>
ThingSpeak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una plataforma IoT basada en la nube que permite almacenar, analizar y visualizar datos provenientes de sensores conectados a internet.</li> <li>• Funciona mediante canales de datos que reciben información a través de HTTP o MQTT.</li> <li>• Es compatible con Arduino, ESP8266, ESP32 y MATLAB, facilitando el análisis avanzado de la información.</li> <li>• Permite crear gráficas en tiempo real y establecer alertas o automatizaciones.</li> <li>• Es ideal para proyectos de monitoreo remoto, análisis de datos científicos y sistemas educativos.</li> </ul>
LabVIEW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una plataforma de desarrollo gráfico creada por National Instruments, utilizada para el control, adquisición y análisis de datos.</li> <li>• Su entorno de programación se basa en diagramas de bloques, lo que facilita el diseño visual de sistemas.</li> <li>• Se integra con una amplia variedad de sensores, instrumentos y microcontroladores.</li> <li>• Es ampliamente usada en laboratorios, automatización industrial y proyectos de investigación.</li> <li>• Ofrece gran precisión y capacidad de procesamiento de señales, ideal para aplicaciones que requieren mediciones exactas y control en tiempo real.</li> </ul>

*Nota.* Tabla comparativa de las posibles plataformas IoT a utilizar

Finalmente, y teniendo en cuenta los requerimientos del proyecto se decidió utilizar como sensor de temperatura el DS18B20, por su precisión de  $\pm 0.5$  °C, encapsulado impermeable y compatibilidad con comunicación digital 1-Wire, ideal para entornos acuáticos. Para la medición del pH, se escogió una sonda BNC con módulo acondicionador analógico, la cual permite un rango de lectura entre 0 y 14 pH, adecuado para acuarios domésticos que deben mantenerse entre 6.5 y 8.0 (Hargreaves & Tucker, 2004).

Como unidad de control principal, se seleccionó el microcontrolador ESP32 DevKit V1, que integra conectividad WiFi y Bluetooth, doble núcleo de procesamiento y bajo consumo energético. Su capacidad de conexión inalámbrica permite el envío de datos en tiempo real a la nube y el control remoto de los actuadores.

Para el sistema de dosificación de alimento, se decidió emplear un dosificador manual modificado para ser controlado mediante el microcontrolador ESP32. Este se conecta a través de una etapa de potencia, la cual protege los circuitos de control y garantiza una dosificación precisa y segura del alimento.

En cuanto a la arquitectura de comunicaciones, el sistema adopta un protocolo propietario basado en TCP/IP que permite la comunicación eficiente entre dispositivos IoT y servidores en la nube, facilitando el monitoreo y control remoto en tiempo real. Los datos de las variables se envían a una plataforma en la nube Blynk, donde se almacenan y grafican. La interfaz de usuario permite la visualización de la temperatura, el pH y el estado del alimentador desde un dispositivo móvil o computadora.

Esta configuración asegura un flujo continuo de información entre el acuario, el microcontrolador y la nube, cumpliendo los requerimientos de monitoreo remoto, control automatizado y accesibilidad definidos en la fase de concepción.

### ***Diseño Esquema Electrónico***

El sistema electrónico del prototipo se basa en el microcontrolador ESP32, el cual funciona como unidad central de control encargada de recibir la información de los sensores, procesarla y controlar los actuadores del sistema. El circuito se organiza en tres bloques principales: alimentación, adquisición de datos y control de actuadores.

La etapa de alimentación recibe una tensión de 5V a través del conector de entrada, la cual es regulada para suministrar 3.3 V al sensor de temperatura y a los componentes electrónicos del sistema, garantizando un funcionamiento estable.

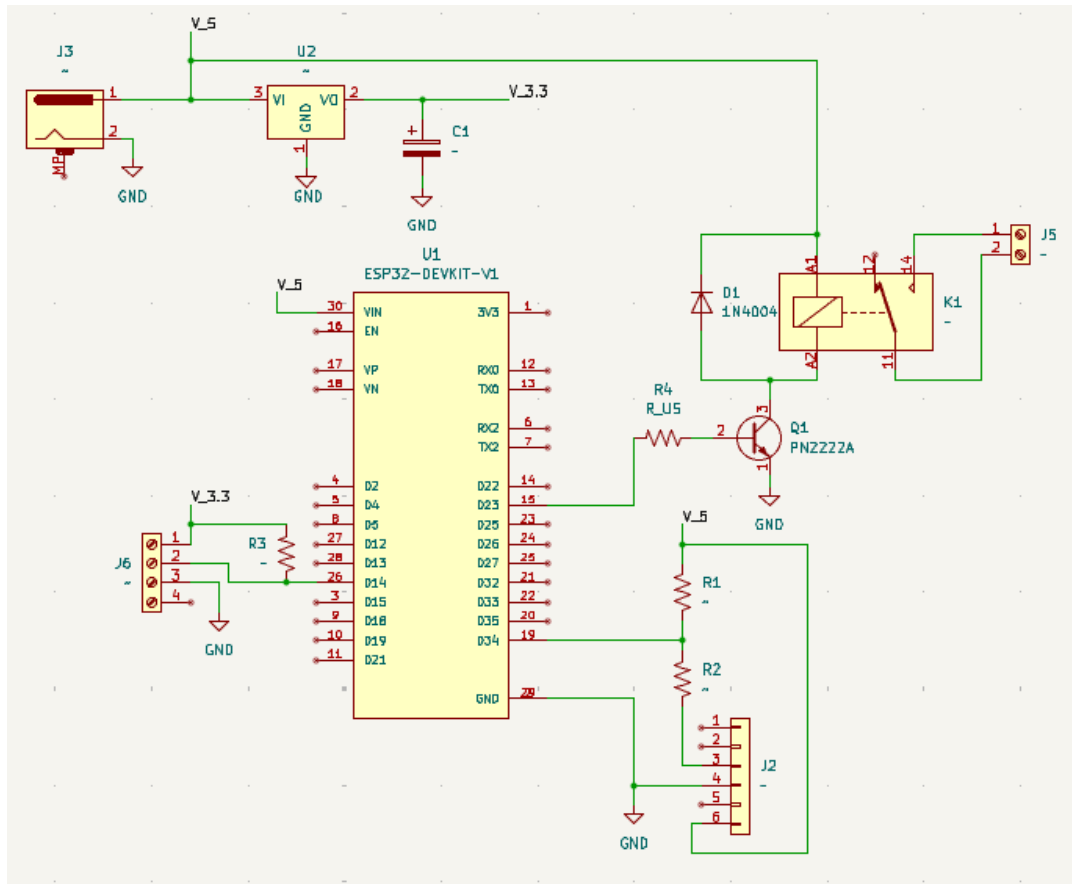
En la etapa de adquisición de datos se conectan los sensores encargados de monitorear las condiciones del acuario. El sensor de temperatura DS18B20 mide la temperatura del agua mediante comunicación digital, mientras que el sensor de pH proporciona una señal analógica que es leída por el convertidor analógico-digital del ESP32, permitiendo evaluar la calidad del agua.

Por último, la etapa de actuación utiliza un transistor y un relé que permiten al ESP32 activar el mecanismo del alimentador automático. El transistor actúa como interruptor electrónico para controlar el relé, mientras que un diodo de protección evita daños por picos de voltaje.

En conjunto, el circuito permite monitorear variables del acuario y controlar automáticamente el sistema de alimentación, enviando además la información a una plataforma IoT para su supervisión remota.

**Figura 7**

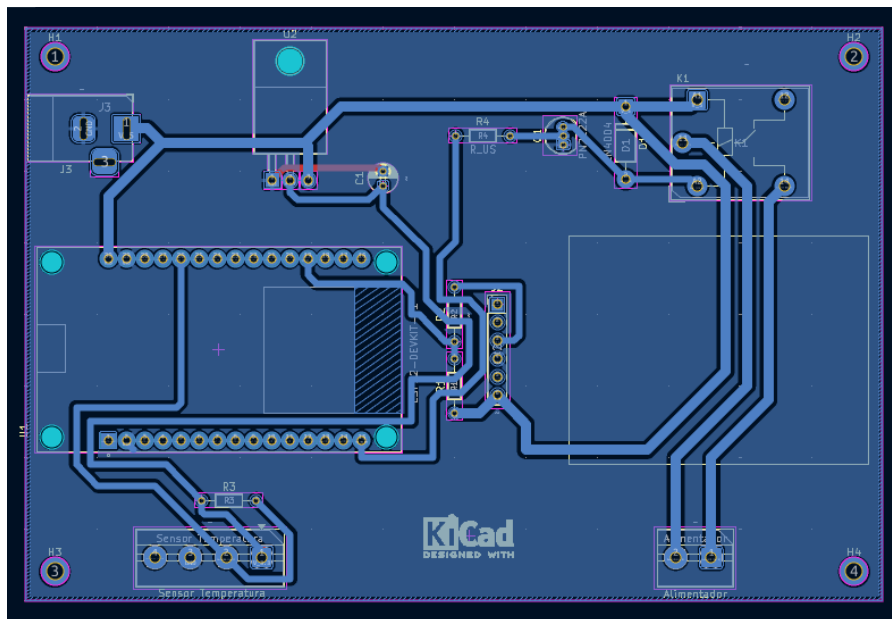
*Diseño Esquemático Electrónico.*



*Nota.* Diseño esquemático electrónico del circuito de control, en este se emplea microcontroladores, reguladores de tensión, transistores, relevadores y borneras (Diseño KiCad).

**Figura 8**

*Diseño PCB KiCad.*



*Nota.* Diseño de PCB (circuito impreso) de la tarjeta de control empleada en el proyecto.

Software KiCad.

### ***Diseño Modulo DAQ (Data Acquisition)***

El diseño del sistema de adquisición de datos (DAQ) emplea a el ESP32 como unidad central de procesamiento, encargada de recibir las señales de los sensores, procesarlas y gestionar el sistema de alimentación automática, además de enviar la información mediante conexión WiFi a la plataforma de monitoreo.

Para la medición del pH del agua se utiliza un electrodo de pH conectado al módulo PH-4502C, el cual se encarga del acondicionamiento de la señal. El electrodo genera una señal analógica de muy bajo nivel (en milivoltios), la cual no puede ser leída directamente por el microcontrolador. El módulo PH-4502C amplifica y adapta esta señal mediante un circuito

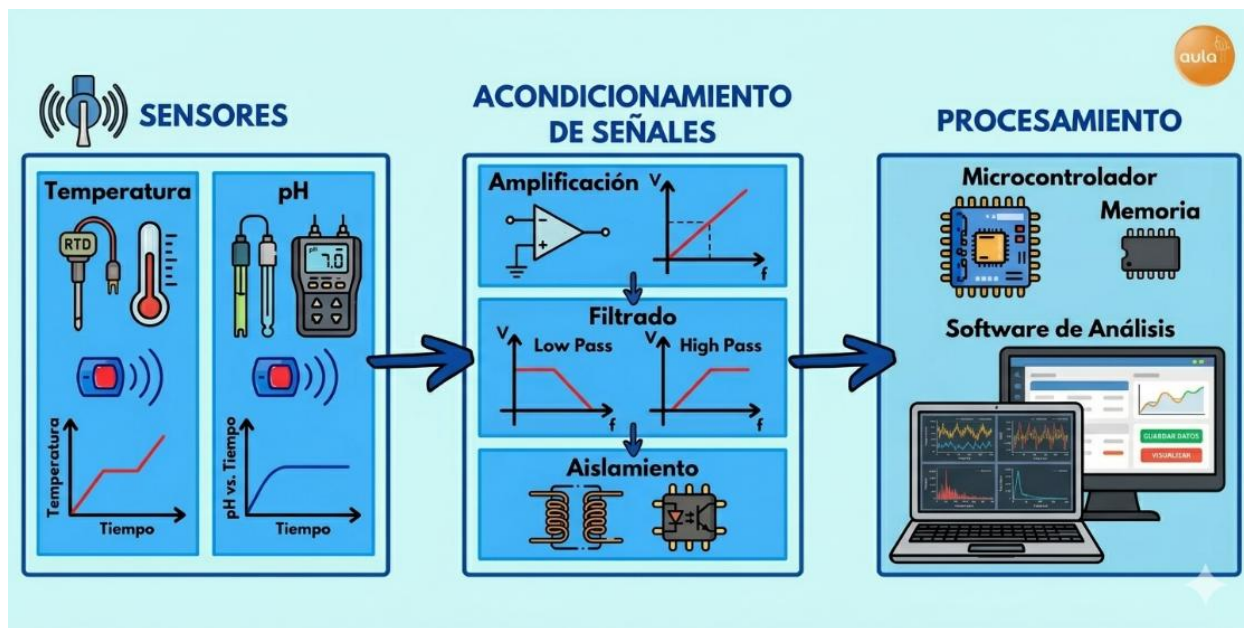
basado en amplificadores operacionales, entregando una salida analógica proporcional al valor de pH dentro de un rango de voltaje adecuado para ser leído por el convertidor analógico-digital (ADC) del ESP32. Esta señal acondicionada se envía al microcontrolador a través de uno de sus pines analógicos, donde posteriormente es procesada y convertida al valor de pH correspondiente.

Para la medición de la temperatura del agua se utiliza un sensor DS18B20, el cual cuenta con acondicionamiento interno y comunicación digital mediante el protocolo 1-Wire. Este sensor envía los datos de temperatura directamente al ESP32 a través de un solo pin de datos, generalmente acompañado de una resistencia pull-up ( $4.7\text{ k}\Omega$ ) que estabiliza la línea de comunicación. Gracias a su conversión digital interna, el sensor proporciona mediciones precisas sin requerir etapas adicionales de amplificación o filtrado.

De esta manera, el sistema DAQ permite adquirir y acondicionar las señales de pH y temperatura del agua, para que el ESP32 pueda procesarlas y utilizarlas en el monitoreo del acuario y en el control del sistema de alimentación automática.

**Figura 9**

*Diseño Modulo DAQ (Data Acquisition).*



*Nota.* La imagen representa un sistema DAQ en tres etapas: captura de datos con sensores, acondicionamiento de señales y procesamiento para su análisis. Elaboración propia generada mediante inteligencia artificial con el modelo Gemini (Google).

### ***Diseño del Algoritmo de Control***

Inicialmente, en la etapa de configuración (setup), el sistema establece la comunicación serial, configura los pines de entrada y salida, inicializa los sensores de pH y temperatura, y establece la conexión WiFi con la plataforma Blynk. Además, se configura un temporizador de 12 horas (valor modificable) que determinará los intervalos de alimentación de los peces.

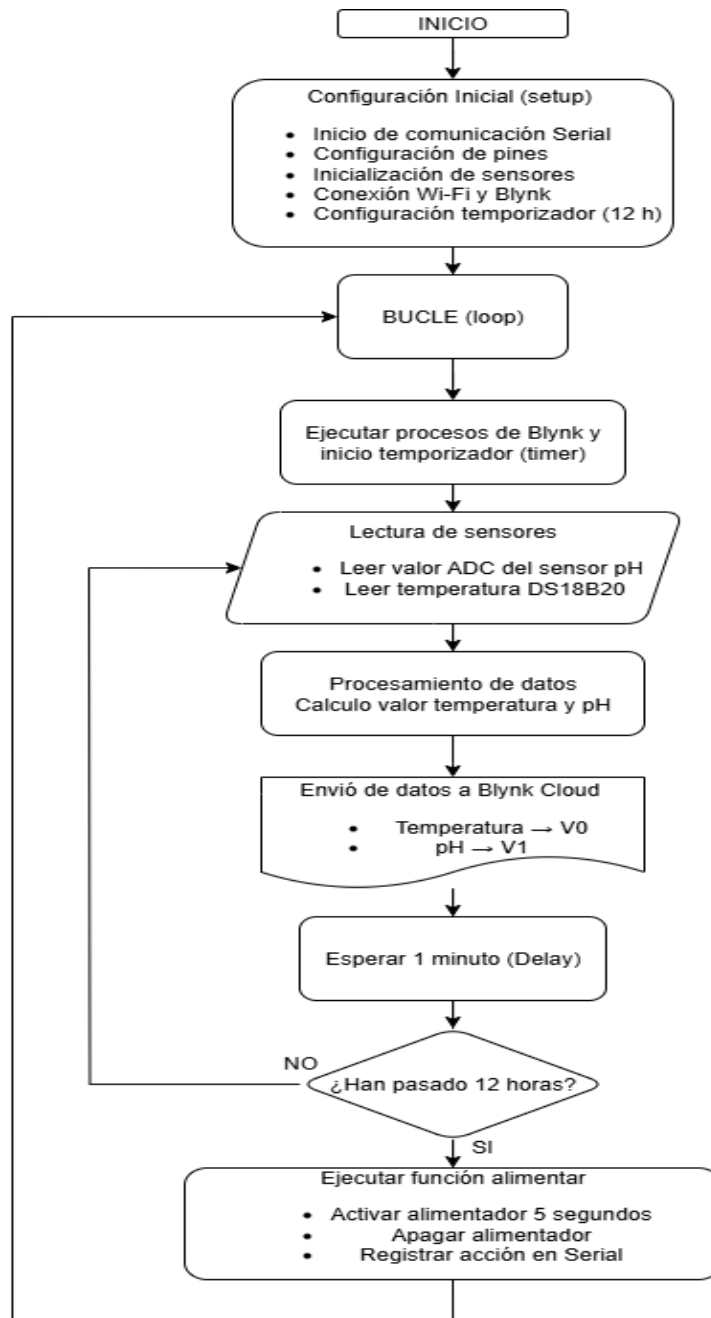
Posteriormente, el programa entra en el bucle principal (loop), donde se ejecutan continuamente las tareas del sistema. En cada ciclo se realiza la lectura de los sensores,

obteniendo el valor analógico del sensor de pH mediante el ADC del ESP32 y la temperatura a través del sensor DS18B20. Estos datos son procesados para calcular los valores finales de temperatura y pH, los cuales se envían a la plataforma Blynk Cloud para su monitoreo remoto.

El sistema realiza estas lecturas periódicamente con un intervalo aproximado de un minuto. Paralelamente, se verifica si han transcurrido 12 horas desde la última alimentación. Cuando se cumple este tiempo, el ESP32 activa el alimentador automático durante 5 segundos, suministrando alimento a los peces, y posteriormente lo desactiva, registrando la acción en la comunicación serial.

Figura 10

Diseño Algoritmo de Control.



Nota. Diagrama representativo de la lógica de control implementada en la tarjeta principal del proyecto.

### ***Diseño Módulo de Visualización y Control***

Para el diseño del módulo de visualización y control, se optó por el uso de la plataforma Blynk, diseñando una interfaz gráfica que permita el monitoreo y la interacción con el sistema IoT de manera intuitiva.

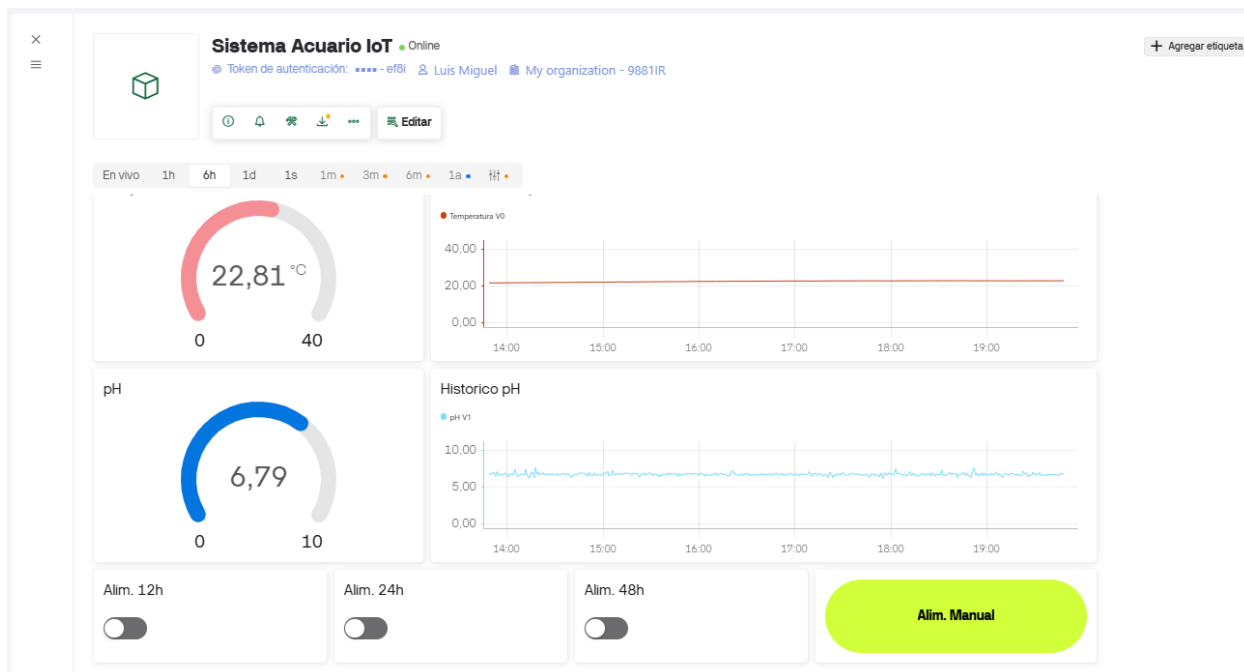
En esta ventana se presentan indicadores tipo gauge que permiten visualizar en tiempo real las variables de temperatura y pH del acuario, facilitando una interpretación rápida del estado actual del sistema. Adicionalmente, se incluyen gráficas de histórico de datos, donde el usuario puede observar el comportamiento de estas variables a lo largo del tiempo, lo que permite analizar tendencias y detectar posibles anomalías.

En la parte inferior de la interfaz se integran controles que permiten configurar la frecuencia de dosificación de alimento, ofreciendo opciones de 12, 24 y 48 horas, así como un botón para activación manual del alimentador.

De esta manera, el diseño de la interfaz no solo permite el monitoreo en tiempo real y el análisis histórico de las variables del acuario, sino también la interacción directa con el sistema, facilitando su control de forma remota.

**Figura 11**

*Interfaz de Visualización y Control Utilizando Blynk.*



*Nota.* Diseño de la interfaz de control del proyecto, orientada a la visualización en tiempo real de la temperatura y el pH, así como a la consulta de gráficas que muestran el comportamiento histórico de estas variables. En la parte inferior se ubican los controles para la selección de la frecuencia de dosificación de alimento.

### ***Diseño de la Integración del Sistema IoT***

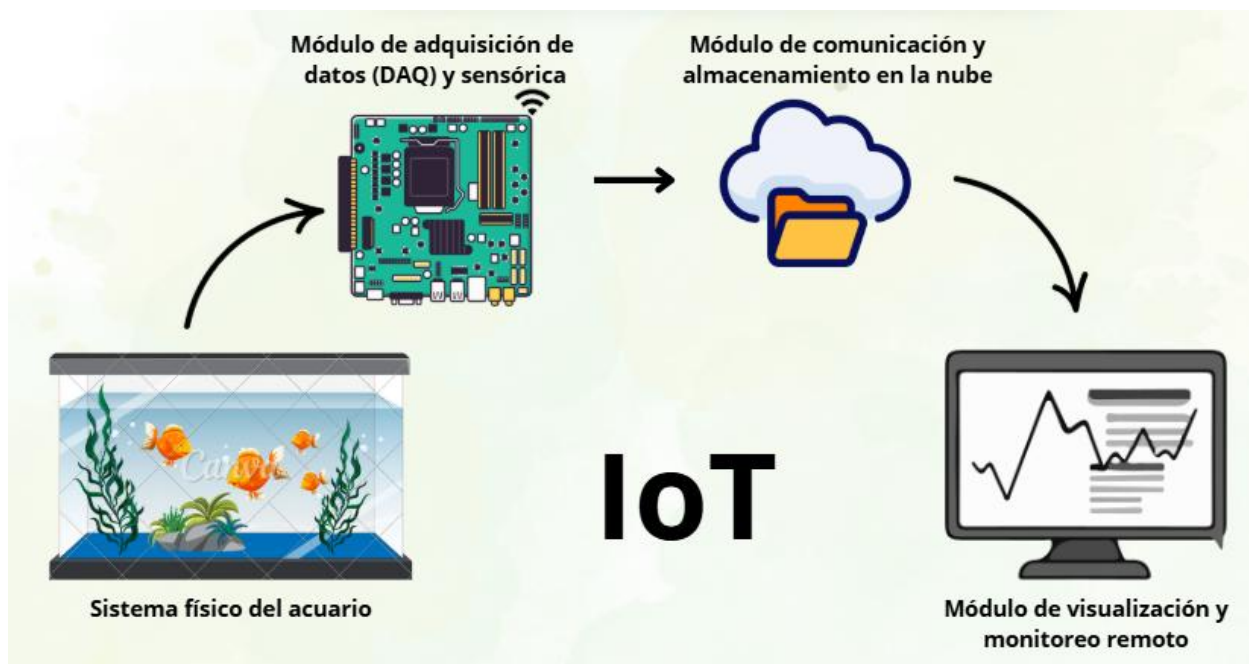
El sistema físico del acuario representa el entorno donde se desarrolla el proceso de monitoreo, en el cual se encuentran los peces y se instalan los sensores encargados de medir las variables del agua. En este caso, se utilizan sensores de pH y temperatura, que permiten obtener información en tiempo real sobre las condiciones del acuario. Las señales generadas por estos sensores son capturadas por el módulo de adquisición de datos (DAQ) basado en el ESP32, el cual se encarga de realizar la lectura, acondicionamiento y procesamiento de la información antes de ser enviada al sistema de monitoreo

Posteriormente, mediante la conectividad WiFi del ESP32, los datos son enviados al módulo de almacenamiento en la nube, donde se registran y gestionan a través de la plataforma Blynk IoT. Finalmente, la información puede ser consultada desde el módulo de visualización y monitoreo remoto, permitiendo al usuario observar variables como la temperatura y el pH del agua mediante una interfaz gráfica.

De esta manera, la integración del sistema IoT permite conectar el entorno físico del acuario con plataformas digitales, facilitando el monitoreo remoto de las condiciones del agua y la gestión automatizada del sistema de alimentación

**Figura 12**

*Diseño de la Integración del Sistema IoT*



*Nota.* Integración del sistema IoT en cuatro etapas: la primera comprende la lectura de los sensores dentro del acuario; la segunda, la adquisición y el procesamiento de los datos recolectados; la tercera, el envío y tratamiento de la información; y la cuarta corresponde a la visualización y el control del sistema.

### **Fase 3 – Implementación**

La fase de implementación corresponde a la materialización física y funcional del sistema diseñado en la etapa anterior. En esta fase se llevó a cabo la construcción del prototipo, la integración de los sensores, actuadores y microcontrolador, así como la configuración de la plataforma en la nube y el desarrollo del software de control. El objetivo principal fue validar el funcionamiento del sistema IoT en un entorno real, garantizando la correcta adquisición, procesamiento y transmisión de los datos, así como el control automatizado del alimentador.

#### ***Construcción del Prototipo Físico***

El prototipo fue construido utilizando como unidad de control principal el microcontrolador ESP32 DevKit V1, inicialmente montado sobre una protoboard para la validación y prueba del circuito. Posteriormente, el diseño fue trasladado a una PCB, permitiendo una implementación más robusta y permanente. Las conexiones eléctricas se realizaron conforme a las especificaciones técnicas de cada componente, garantizando un funcionamiento seguro, estable y confiable del sistema.

El sensor de temperatura DS18B20 fue instalado dentro del acuario, aprovechando su encapsulado impermeable, lo que permite una medición directa y precisa de la temperatura del agua. Este sensor fue conectado al ESP32 mediante el protocolo de comunicación digital 1-Wire, utilizando una resistencia pull-up de 4.7 k $\Omega$  entre la línea de datos y el voltaje de alimentación de 3.3 V.

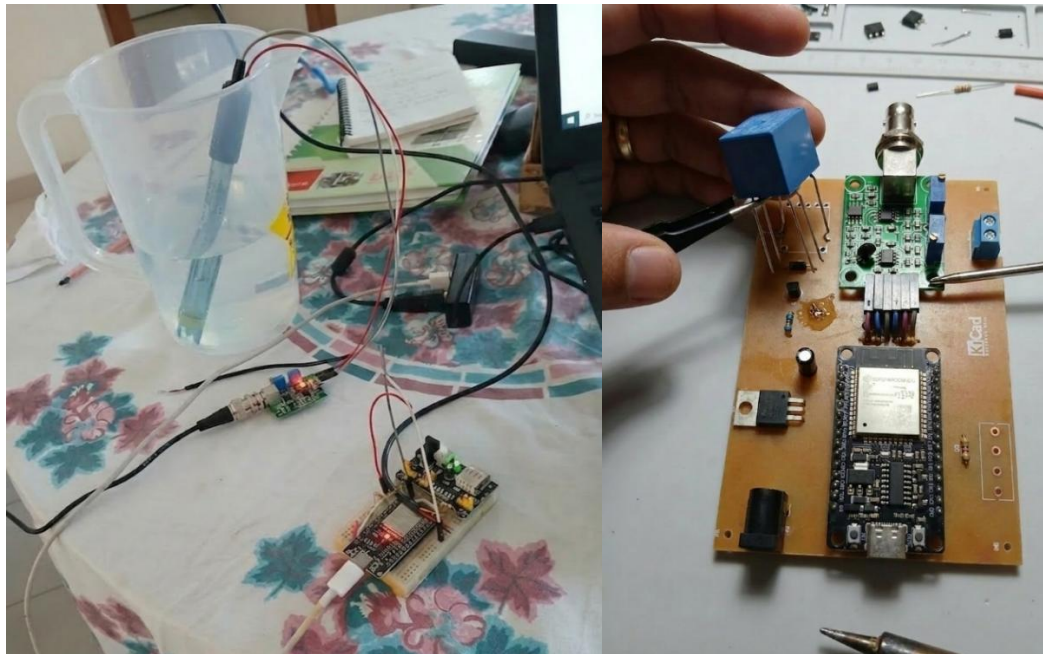
Por su parte, el sensor de pH con sonda tipo BNC fue conectado al módulo acondicionador de señal, el cual permite adaptar la señal analógica del sensor a niveles compatibles con el convertidor analógico–digital (ADC) del ESP32. La salida analógica del

módulo fue conectada a uno de los pines ADC del microcontrolador, permitiendo la lectura del nivel de pH del agua.

Para el sistema de alimentación automática, se utilizó un mecanismo dosificador modificado, controlado mediante un servomotor conectado a un pin PWM del ESP32. Este actuador permite liberar una cantidad controlada de alimento mediante la rotación programada del mecanismo, garantizando una dosificación precisa.

### Figura 13

*Construcción Circuito de Control.*



*Nota.* Ensamblaje de los componentes electrónicos en la tarjeta de control del proyecto.

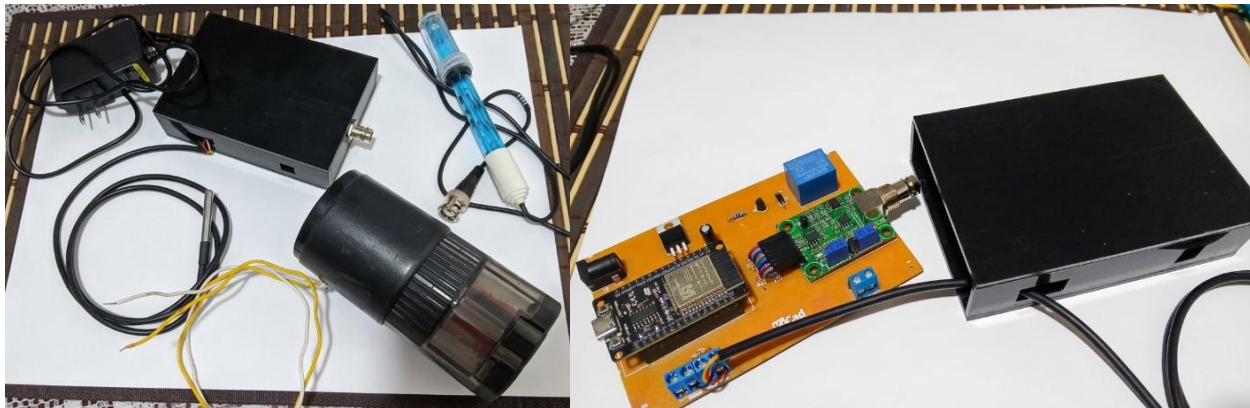
### ***Integración de Sensores y Módulos de Actuación***

Una vez construido el prototipo físico, se procedió a integrar todos los componentes mediante la programación del microcontrolador ESP32, utilizando el entorno de desarrollo Arduino IDE. El software implementado permite realizar las siguientes funciones:

- Lectura periódica de la temperatura del agua mediante el sensor DS18B20.
- Lectura del valor analógico del sensor de pH y conversión a unidades de pH mediante un proceso de acondicionamiento de señales.
- Procesamiento de los datos obtenidos mediante algoritmos de control programados en el microcontrolador.
- Activación de dispensador en horarios programados para la dosificación automática de alimento.
- Envío de los datos a la plataforma en la nube mediante conexión WiFi.

### **Figura 14**

*Integración de Sensores y Actuadores con la Tarjeta de Control.*



*Nota.* Integración de sensores (pH y temperatura) y actuador con la tarjeta de control.

### ***Configuración de la Plataforma en la Nube***

El ESP32 fue configurado para conectarse a una red WiFi local, permitiendo la integración con la plataforma Blynk como entorno de monitoreo en la nube. Para ello, se implementó la librería de Blynk, la cual facilita la comunicación mediante el protocolo TCP/IP, estableciendo un enlace directo entre el dispositivo y el servidor en la nube.

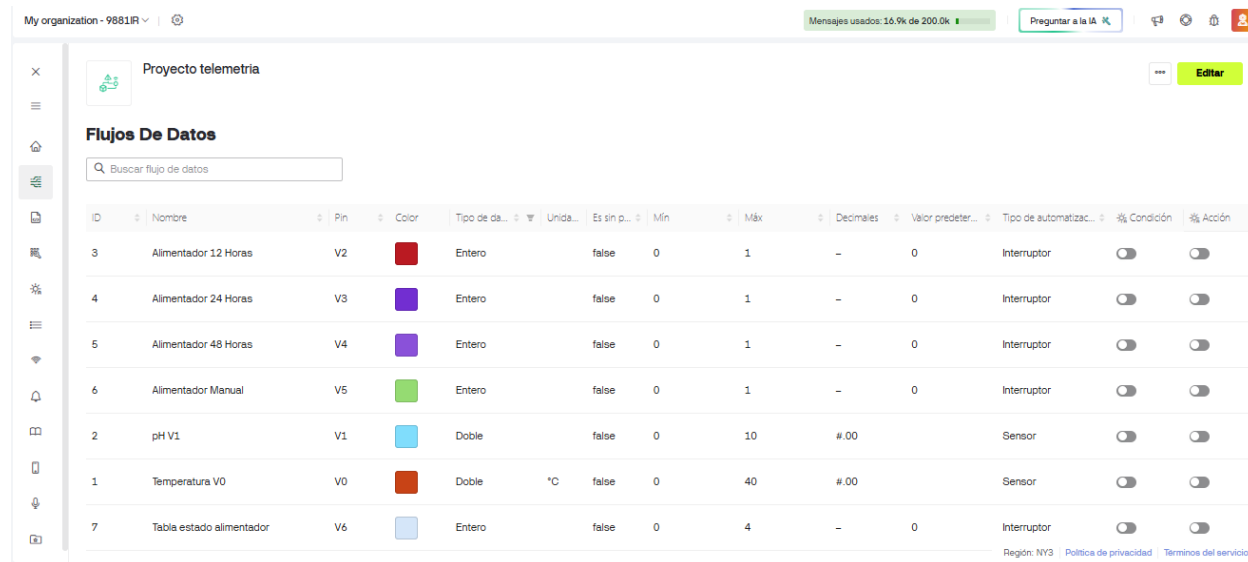
A través de esta configuración, el microcontrolador se autentica mediante un token de acceso proporcionado por la plataforma, garantizando una conexión segura y personalizada. Una vez establecida la comunicación, el ESP32 envía de forma periódica los datos de temperatura y pH a los pines virtuales (V0 y V1) de Blynk, donde son visualizados en la interfaz gráfica de la aplicación.

Adicionalmente, desde la misma plataforma es posible configurar la frecuencia de alimentación del acuario, permitiendo al usuario seleccionar intervalos de 12, 24 o 48 horas, los cuales son enviados al ESP32 para ajustar el temporizador del sistema.

Esta integración permite la supervisión remota en tiempo real del estado del acuario, así como la interacción con el sistema desde dispositivos móviles o computadores con acceso a internet, facilitando el control y seguimiento del prototipo.

Figura 15

## Configuración de la Plataforma Blynk.



My organization - 9881R | Mensajes usados: 10.0% de 200.0k | Preguntar a la IA

Proyecto telemetria Editar

**Flujos De Datos**

Buscar flujo de datos

ID	Nombre	Pin	Color	Tipo de da...	Unida...	Es sin p...	Min	Máx	Decimales	Valor predefe...	Tipo de automatizac...	Condición	Acción
3	Alimentador 12 Horas	V2	Red	Entero		false	0	1	-	0	Interruptor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Alimentador 24 Horas	V3	Púrpura	Entero		false	0	1	-	0	Interruptor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Alimentador 48 Horas	V4	Púrpura	Entero		false	0	1	-	0	Interruptor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Alimentador Manual	V5	Verde	Entero		false	0	1	-	0	Interruptor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	pH V1	V1	Cian	Doble		false	0	10	#.00		Sensor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1	Temperatura V0	V0	Naranja	Doble	°C	false	0	40	#.00		Sensor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Tabla estado alimentador	V6	Azul	Entero		false	0	4	-	0	Interruptor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Región: NY3 [Política de privacidad](#) [Términos del servicio](#)

*Nota.* Configuración de la plataforma Blynk para la recepción, almacenamiento y visualización de los datos provenientes de la tarjeta de control. En la imagen se aprecia la creación de los datastreams correspondientes a las variables de pH y temperatura, así como a los tiempos de dosificación de alimento.

### ***Calibración de Sensores***

Con el fin de garantizar la precisión y confiabilidad de las mediciones obtenidas por el sistema, se realizó un proceso de calibración de los sensores utilizados para medir las variables críticas del acuario, específicamente el sensor de temperatura DS18B20 y el sensor de pH con sonda BNC. Este procedimiento permite ajustar las lecturas del sistema a valores de referencia confiables, reduciendo posibles errores de medición.

**Calibración del Sensor de Temperatura.** El sensor DS18B20 cuenta con una calibración de fábrica y una precisión aproximada de  $\pm 0.5$  °C. No obstante, para verificar la exactitud de las mediciones se realizó una comparación con un termómetro digital de referencia utilizado comúnmente en acuarios.

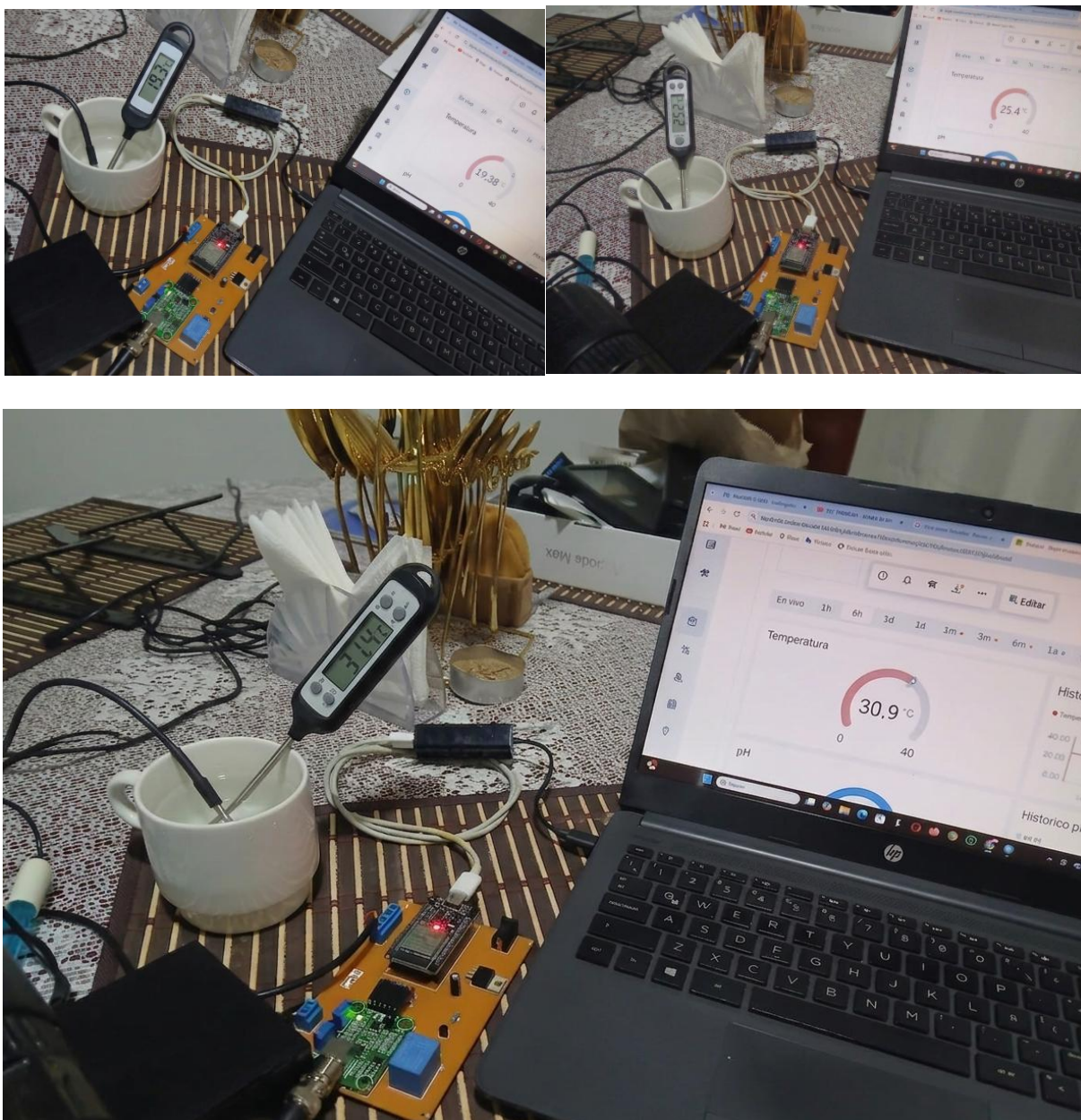
El procedimiento consistió en introducir simultáneamente el sensor DS18B20 y el termómetro de referencia en el agua del acuario y registrar las lecturas obtenidas por ambos dispositivos durante varios minutos. Posteriormente se compararon los valores medidos para verificar posibles desviaciones.

En caso de detectarse diferencias sistemáticas entre ambos valores, se aplicó un pequeño ajuste de compensación en el código del microcontrolador ESP32, sumando o restando el valor de corrección necesario para que la lectura del sensor coincidiera con la referencia.

Este proceso permitió asegurar que las mediciones de temperatura utilizadas por el sistema reflejen de manera confiable las condiciones reales del acuario.

**Figura 16**

*Calibración Sensor Temperatura DS18B20.*



*Nota.* Calibración de tres puntos de temperatura (19,3 °C - 25,2 °C - 31,4 °C) para el sensor DS18B20, utilizando un termómetro de referencia.

**Calibración del sensor de Ph.** El sensor de pH utilizado en el sistema requiere un proceso de calibración para garantizar la precisión de las mediciones, debido a que la señal generada por la sonda electroquímica puede variar con el tiempo y las condiciones de uso.

La calibración se realizó utilizando soluciones buffer de referencia con valores de pH conocidos. El procedimiento consistió en sumergir la sonda en soluciones de calibración estándar (pH 4.01 y pH 6.86) y registrar el valor analógico entregado por el módulo sensor.

A partir de estos valores se ajustó la ecuación de conversión utilizada en el programa del microcontrolador, permitiendo transformar correctamente la señal analógica en unidades de pH. Este proceso asegura que las mediciones realizadas por el sistema se encuentren dentro de un rango aceptable de precisión para el monitoreo de acuarios domésticos.

### Figura 17

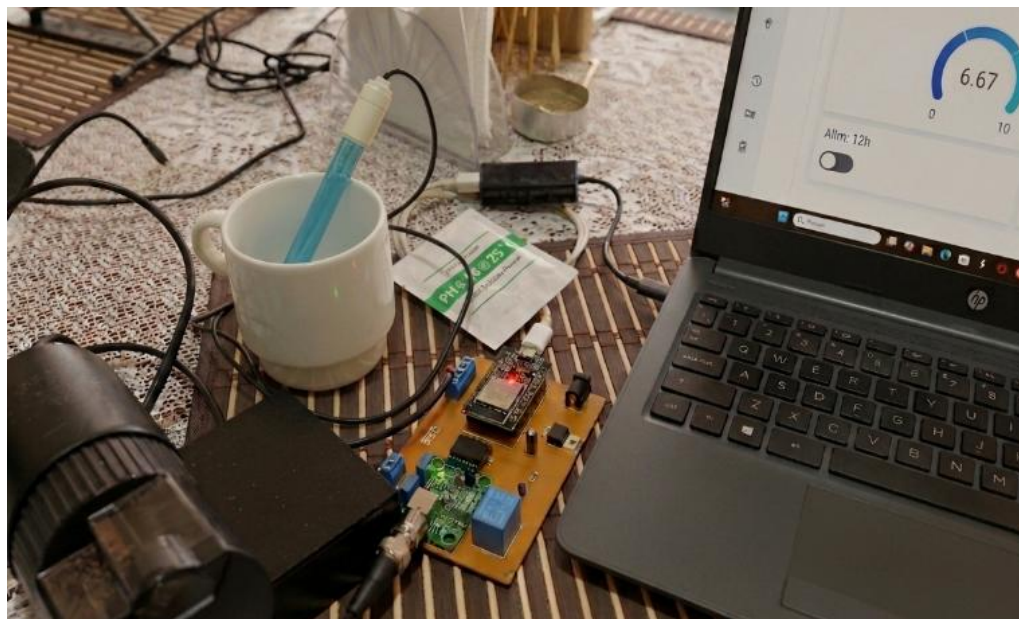
*Calibración sensor Ph-4502C Solución pH 4.00*



*Nota.* Calibración del electrodo de pH con solución buffer de referencia pH 4.00.

**Figura 18**

*Calibración Sensor Ph-4502C Solución pH 6.86*



*Nota.* Calibración del electrodo de pH con solución buffer de referencia pH 6.86

## **Fase 4 – Operación y Validación**

### ***Condiciones de Operación del Sistema***

El sistema fue evaluado en condiciones reales de funcionamiento dentro de un acuario doméstico, operando de manera continua durante periodos prolongados. Durante estas pruebas, el ESP32 ejecutó el algoritmo de control realizando la adquisición periódica de datos, la transmisión hacia la plataforma en la nube y la activación del sistema de alimentación según la configuración establecida.

Se definieron intervalos de muestreo de 1 minuto para la adquisición de variables, y se configuraron frecuencias de alimentación de 12, 24 y 48 horas, con el fin de analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de operación.

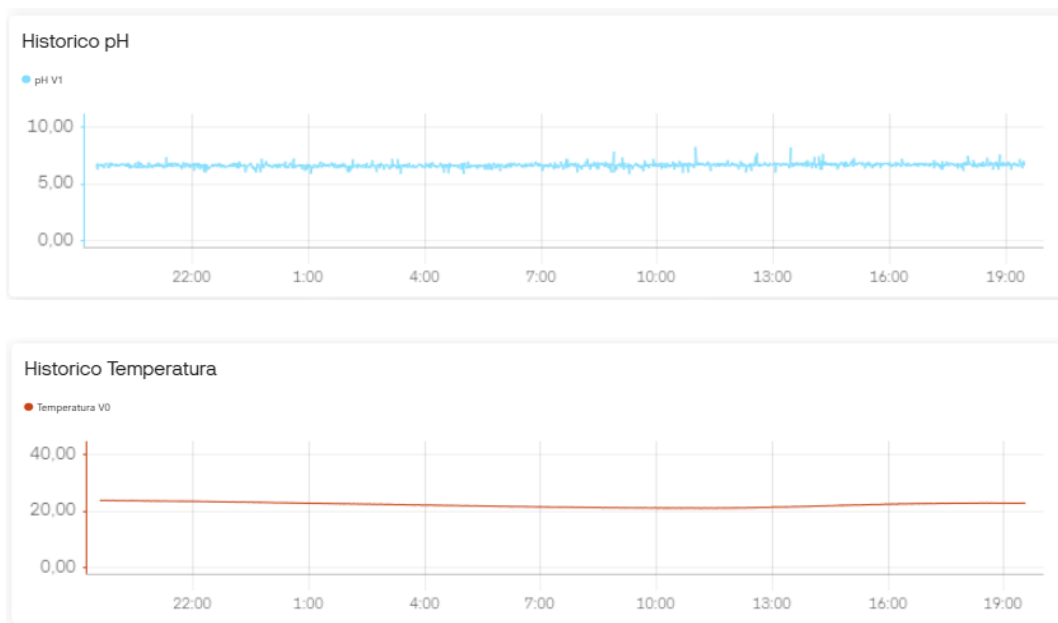
### ***Validación de la Adquisición de Datos***

La validación de los sensores se realizó mediante el análisis de la estabilidad, coherencia y repetibilidad de las mediciones. En el caso de la temperatura, el sensor DS18B20 presentó lecturas consistentes con variaciones mínimas ante cambios controlados del entorno.

Para la medición de pH, se llevó a cabo un proceso de calibración del módulo PH-4502C, ajustando la relación entre el voltaje de salida y el valor real de pH mediante soluciones de referencia. Posteriormente, se verificó que las lecturas se mantuvieran dentro de rangos esperados, evidenciando un comportamiento estable en el tiempo del sistema de adquisición.

**Figura 19**

*Grafica Histórico Datos Sensor Temperatura y Ph.*



*Nota.* Grafico del historial de comportamiento de las variables pH y temperatura en el tiempo.

***Validación de la Comunicación y Monitoreo Remoto***

Se evaluó la capacidad del sistema para transmitir datos hacia la plataforma Blynk a través de la red WiFi. Durante las pruebas, se verificó el envío continuo de datos de temperatura y pH, así como su correcta visualización en tiempo real en la interfaz gráfica.

Adicionalmente, se validó la comunicación bidireccional del sistema, comprobando que los cambios realizados desde la plataforma, como la modificación de la frecuencia de alimentación (12, 24 y 48 horas), fueran correctamente recibidos y ejecutados por el ESP32 sin retrasos significativos.

Figura 20

*Validación Comunicación Utilizando Monitor Serie Arduino.*

```

pruebas_de_sensor_ph_y_temp_V4 Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

pruebas_de_sensor_ph_y_temp_V4
/*
PROYECTO: Sistema de Alimentación Automática
Autor: Luis Amaya
Descripción:
- Control de alimentador con modos 12h,
- Conectado a Blynk (con bitmask en V6)
- Lectura de sensores de temperatura (DS18B20)
- Alimentador físico controlado por pines físicos

#Define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2JscdBBB2"
#Define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Proyecto telemedicina"
#Define BLYNK_AUTH_TOKEN "jPnHM0x7ZAWk02JpaK"

#Define BLYNK_PRINT Serial

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// ===== Pines físicos =====
#Define PHPIN 34 // Entrada del sensor de pH (ADC)
#Define TEMP_PIN 14 // DS18B20
#Define FEEDER_PIN 23 // Salida al rele del alimentador

load:0x40078000, len:16612
load:0x40080400, len:3480
entry 0x400805b4
[67] Connecting to Familia Lara Fonseca
[3658] Connected to WiFi
[3658] IP:
[3658]
[3669] Connecting to blynk.cloud:80
[3996] Ready (ping: 131ms).
[3669] Bitmask V6 enviado (decimal): 0
[3669] Modo actualizado -> Ninguno
[3669] Sistema IoT de Alimentación iniciado (versión física)
[3669] Bitmask V6 enviado (decimal): 0
[3669] Modo actualizado -> Ninguno
[3669] Temp: 18.31 °C | pH: 10.24
[3669] Temp: 18.37 °C | pH: 10.25
[3669] Temp: 18.56 °C | pH: 10.25
[3669] Temp: 19.37 °C | pH: 10.20
Autoscroll [x] Mostrar marca temporal
Sin ajuste de línea 115200 baudio Limpiar salida

```

*Nota.* Prueba de validación de la comunicación bidireccional entre la tarjeta de control y la interfaz de visualización. En la imagen se observan los comandos de configuración al energizar la tarjeta, así como los datos provenientes de los sensores (monitor serie, Arduino).

*Validación del Sistema de Control*

El sistema de alimentación automática fue evaluado verificando la correcta activación del actuador en los intervalos de tiempo configurados. Se comprobó que el relé responde adecuadamente a las señales del microcontrolador, activando el dosificador durante el tiempo programado.

Asimismo, se analizó la precisión temporal del sistema, evidenciando que los ciclos de alimentación se ejecutan conforme a los periodos establecidos, sin desviaciones significativas en la temporización.

### **Figura 21**

*Dosificador de Alimento.*



*Nota.* Mecanismo de dosificador de alimento tomando como base un dosificador giratorio y modificándolo para construir un alimentador automático controlado por la tarjeta de control previamente diseñada.

### ***Pruebas de Operación Continua y Análisis de Desempeño***

Se realizaron pruebas de operación continua con el fin de evaluar la estabilidad global del sistema. Durante estos ensayos, el sistema mantuvo una operación ininterrumpida, sin fallos en la adquisición de datos, pérdida de comunicación o errores en la ejecución del control.

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que el sistema presenta un comportamiento estable, confiable y robusto, cumpliendo con los requerimientos de monitoreo remoto y

automatización planteados. La integración de los diferentes módulos garantiza un desempeño adecuado para su aplicación en acuarios domésticos.

## Figura 22

*Sistema IoT para la Automatización del Cuidado de Peces en Acuarios.*



*Nota.* Prototipo finalizado del Sistema IoT para la automatización del cuidado de peces en acuarios.

## Conclusiones

El desarrollo del presente proyecto permitió diseñar e implementar un prototipo funcional de sistema IoT orientado a la automatización del cuidado de peces en acuarios domésticos, cumpliendo con el objetivo general planteado. A través de la integración de sensores de temperatura y pH, un microcontrolador ESP32 y una plataforma en la nube, se logró establecer un sistema capaz de monitorear en tiempo real las condiciones del agua y facilitar la supervisión remota del acuario.

En relación con los objetivos específicos, se diseñó una arquitectura electrónica y de comunicaciones adecuada, que permitió la adquisición confiable de datos mediante sensores previamente analizados y seleccionados. Asimismo, se implementó una plataforma de visualización que posibilita el seguimiento histórico de las variables y la consulta en tiempo real, contribuyendo a una mejor toma de decisiones por parte del usuario.

La incorporación de un sistema de alimentación automática demostró ser una solución efectiva para garantizar la dosificación controlada de alimento, reduciendo la intervención manual y minimizando errores asociados a la sobrealimentación o a la omisión de esta tarea. Este componente complementa el monitoreo de variables, consolidando una solución integral para el cuidado del acuario.

Durante la fase de validación, el sistema evidenció un comportamiento estable en la captura, transmisión y visualización de datos, así como en la ejecución de las funciones de control programadas. Las pruebas realizadas permitieron verificar la viabilidad técnica del prototipo en un entorno real, confirmando su capacidad para operar de manera continua y confiable.

Desde una perspectiva académica y de ingeniería, el proyecto permitió aplicar de manera integral conocimientos en sistemas embebidos, instrumentación electrónica, comunicaciones inalámbricas e integración de plataformas IoT, bajo el enfoque metodológico CDIO. Esto facilitó no solo la construcción de un sistema funcional, sino también la comprensión del ciclo completo de desarrollo de soluciones tecnológicas.

Finalmente, el proyecto aporta una alternativa de bajo costo y fácil implementación para el monitoreo y automatización de acuarios domésticos, contribuyendo al bienestar de los peces y promoviendo prácticas responsables en su cuidado. Como trabajo futuro, se plantea la posibilidad de integrar nuevos sensores (como oxígeno disuelto o amoníaco), incorporar algoritmos de control más avanzados y desarrollar aplicaciones móviles personalizadas que mejoren la experiencia del usuario.

## Referencias Bibliográficas

- American Fisheries Society. (2021). *Guidelines for the use of fishes in research*. American Fisheries Society.
- Animales de Compañía. (2024). *Descubre las principales causas de muerte de peces: ¡Evita desastres en tu acuario!*. <https://animalesdecompania.com/causas-de-muerte-de-peces/>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). *The internet of things: A survey*. Computer Networks, 54(15), 2787-2805.: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Boyd, C. E. (2018). *Water quality: An introduction*. Springer.  
<https://www.springer.com/gp/book/9783030002302>
- Cárdenas, R., Torres, P., & Jiménez, L. (2023). *IoTMonitor-WQ: Plataforma para la supervisión remota de calidad del agua en acuicultura*. Revista de Tecnología Acuícola, 15(1), 55-70. <https://doi.org/10.1016/j.reta.2023.01.004>
- Chen, J., Yang, X., & Liu, Y. (2019). *Smart Aquarium Monitoring System Based on IoT*. Journal of Aquatic Science & Technology, 7(2), 45-58.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734762>
- Congreso de Colombia. (2016). *Ley 1774 de 2016 por la cual se modifica el Código Civil y se crea el estatuto nacional de protección animal*. Diario Oficial.
- Cuenca Luna, A. J., Quelal Villarreal, R. D., Donoso Martínez, F. S., Cuzme Rodríguez, F. G., & Muñoz Criollo, P. D. (2025). *WiFish: Plataforma de monitoreo de acuicultura basada en IoT y cloud computing con cifrado AES-128*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada.

- Espinoza Cruz, M., Ramírez, G., & López, H. (2022). *Implementación de sensores IoT en el monitoreo de calidad de agua para piscicultura*. *Journal of Aquatic Environmental Studies*, 8(3), 33-47. <https://doi.org/10.35425/jaes.v8i3.256>
- Esparza, J. (2020). *Desarrollo de aplicaciones IoT con ESP32 y MicroPython*. Ediciones ENI. <https://www.ediciones-eni.com/libros/desarrollo-de-aplicaciones-iot-con-esp32-y-micropython>
- Global Growth Insights. (2023). *Tamaño del mercado de acuarios, participación y análisis de tendencias*. <https://www.globalgrowthinsights.com/es/market-reports/aquarium-market-100135>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Hargreaves, J. A., & Tucker, C. S. (2004). *Managing ammonia in fish ponds*. Southern Regional Aquaculture Center, 4603, 1-8. <https://srac.tamu.edu/serveFactSheet/112>
- Hospital Veterinario Benipeixcar. (2025). *Guía esencial: manejo de mortalidad en peces*. <https://hospitalveterinariobenipeixcar.es/guia-para-el-manejo-de-la-mortalidad-de-peces-en-acuarios/>
- Junaedi, J., & Hok Ki. (2022). *Acuario inteligente con IoT como monitorización en piscicultura*. bit-Tech.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). *The internet of things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises*. *Business Horizons*, 58(4), 431-440. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.06.001>

- Martínez Quinchanegua, L., & Bertel López, A. (2021). *Diseño de un sistema de monitoreo remoto de calidad de agua en acuicultura*. *Ingeniería y Desarrollo*, 39(2), 155-170.  
<https://doi.org/10.14483/23448393.17520>
- Medrano, F., Torres, P., & Ramírez, J. (2024). *Revisión sobre tecnologías IoT aplicadas a la acuicultura sostenible*. *Revista de Innovación y Desarrollo Tecnológico*, 16(1), 1-20.  
<https://doi.org/10.1016/j.ridt.2024.01.002>
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (2021). *Código Sanitario para los Animales Acuáticos*. <https://www.oie.int/es/que-hacemos/normas/codigo-sanitaria-animales-acuaticos/>
- Saxby, A., Adams, L., & Snellgrove, D. (2010). *Aquarium fish: Keeping and maintenance*. DK Publishing. <https://www.dk.com/uk/book/9781405333148-aquarium-fish/>
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2013). *Recirculating aquaculture*. Ithaca Publishing.  
<https://www.ithacapublishing.com/recirculating-aquaculture>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2014). *Manual para el bienestar de los peces en acuarios*. <https://www.iucn.org/es/manual-bienestar-peces-acuarios>
- Wijaya, P., & Wellem, T. (2022). *Perancangan dan implementasi sistem pemantauan suhu dan ketinggian air pada akuarium ikan hias berbasis IoT*. *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*.