

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA UN ESTANQUE PISCÍCOLA

IMPLEMENTATION OF AN ELECTRONIC WATER QUALITY MONITORING SYSTEM FOR A FISH POND

Leslie A. Escobar* Natalia G. Ramírez Tutor Frank Giraldo *****

Resumen: En el siguiente documento se describe y se analiza la construcción del proyecto “implementación de un sistema electrónico de monitoreo de la calidad del agua para un estanque piscícola”, cuyo énfasis se enfoca en la necesidad que se requiere para el control adecuado de la calidad del agua dentro del estanque. De este modo se ha diseñado un prototipo que permite dar eficiencia a esta labor, los parámetros tenidos en cuenta para la verificación del estado adecuado del agua son: Temperatura, pH y turbidez, si estos parámetros no se encuentran en el estado adecuado hay riesgo de que la crianza de los peces sea inadecuada causando muerte o enfermedades dentro de los mismos, por tal motivo el prototipo esta en constante monitoreo para garantizar que estos parámetros se cumplan, de no ser así, permitir una rápida reacción y adecuado manejo de la situación. El modelo se desarrolló bajo las siguientes etapas: En primer lugar, la estructura mecánica, que consta de un modelo no sumergible tipo boya, se encuentra dividido en tres partes, la primera, donde

* Estudiante de tecnología en electrónica, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Colombia .e-mail : laescobarr@correo.udistrital.edu.co

** Estudiante de tecnología en electrónica, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Colombia. e-mail: nagutierrezr@correo.udistrital.edu.co

*** Ingeniero en control electrónico e instrumentación, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Colombia. Maestría en Ingeniería automatización industrial, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Docente Universidad Distrital , Colombia .e-mail: fngiraldor@udistrital.edu.co

se encuentran los módulos y la alimentación, está totalmente sellada para evitar daños en el control electrónico, la segunda parte se encuentra sumergida proporcionando estabilidad al prototipo, y por último una base que ayuda a que las sondas se sumerjan verticalmente para lograr una adecuada lectura. En segundo lugar, la captura de datos, esta información es recolectada de los sensores. En tercer lugar, el almacenamiento de datos, los cuales son registrados para posteriormente ser consultados, y en cuarto lugar la interfaz gráfica que permite la visualización de los datos, para un adecuado control y monitoreo del estanque, de esta manera garantizar que las condiciones son óptimas. De igual forma se consideran los conceptos teóricos investigados y la alternativa de solución, para finalmente ser aplicados.

Palabras clave: piscicultura, calidad, agua, automatización, estanque, sensores, monitoreo, pH, turbidez, Temperatura.

Abstract: The following document describes and analyzes the construction of the project "implementation of an electronic water quality monitoring system for a fish pond" whose emphasis was made on the need that is required for adequate water quality control. Inside the pond; in this way, a prototype has been designed to give efficiency to this work. The parameters taken into account for the verification of the adequate state of the water are Temperature, pH and turbidity. If these parameters are not in the adequate state, there is a risk of that the rearing of the fish is inadequate causing death or disease within them, for this reason the prototype is constantly monitored to ensure that these parameters are established, if not, allow a rapid reaction and adequate management of the situation. The model was developed under four basic stages: The mechanical structure, which consists of a non-submersible

model, divided into three parts, the first one where the modules and the power supply are located, this one is completely sealed to avoid damage to the electronic control, the second part is submerged helping the prototype to stabilize, there are the probe cables, and finally a base that helps the probes to be submerged horizontally and achieve an adequate reading. The measurement for the interconnection and communication between devices, this information is collected from the sensors, the data storage which is registered for later consultation and the graphical interface that allows the visualization of the data for proper control and monitoring of the pond and so that it is in optimal conditions. In the same way, the theoretical concepts investigated and the alternative solution are considered, to finally be applied.

Key Words: fish farming, quality, water, automation, pond, sensors, monitoring.

1. Introducción

En la actualidad el campo de la piscicultura a avanzado drásticamente, sin embargo en el proceso de crianza de peces, la tasa de mortalidad de los mismo oscila entre el 15% y 20%, debido a enfermedades adquiridas por la mala calidad del agua en los estanques; como consecuencia de la falta de monitoreo y verificación de los siguientes factores: (i) la temperatura (ii) el pH y (iii) la turbidez, factores fundamentales para el óptimo crecimiento de los peces dentro del estanque.

Las implicaciones del mal cuidado en la calidad del agua generan como consecuencia que los peces que sobreviven a esta mala práctica en su mayoría pueden contraer

enfermedades que afectan al consumidor final, por consiguiente, si se reduce el riesgo, se logra que la piscicultura alcance mejores estándares de calidad y aumente su potencialmente su crecimiento.

Teniendo en cuenta el inconveniente que se presenta en la actividad de piscicultura y las afectaciones que se pueden generar al consumidor final, se diseña un prototipo, el cual cumple una labor de censar las condiciones del agua (la temperatura, el pH y la calidad del agua (turbidez)), los datos obtenidos del censado se podrán visualizar en una interfaz gráfica.

2. Desarrollo del tema

En la figura 1 se observa los pasos esenciales que se tuvieron en cuenta para la realización del proyecto.

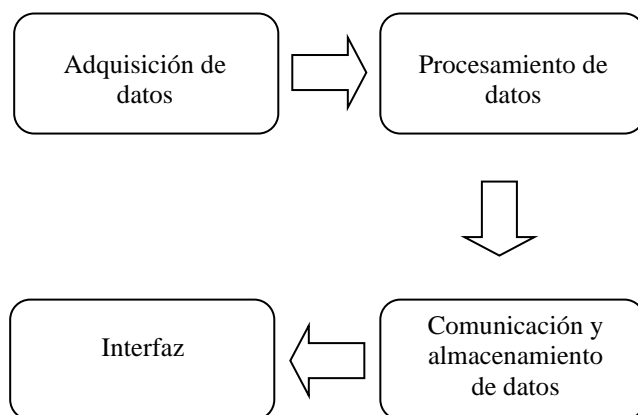


Figura 1. Diagrama de bloques

2.1. Adquisición de datos

La adquisición de datos se realizó con la ayuda de tres sensores: sensor de temperatura DS18B20 (sensor digital), y dos sensores análogos, sensor de turbidez (LGZD sensor v1.1), y sensor de Ph (PH-4502C), Estos sensores fueron seleccionados por su eficiencia al momento de censar los datos, de igual manera por que se encuentran dentro de las principales características más importantes para el manejo de la calidad del agua en los

estanques: pH, la turbidez y la temperatura del agua [1]. Para los sensores análogos se tuvieron que tener en cuenta la calibración de los mismos para que sus medidas fueran más efectivas.

2.1.1. Calibración sensores

Sensor de Temperatura (DS18B20):

Es un sensor digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse, este protocolo necesita solo un pin de datos para comunicarse, se utiliza una resistencia de pull up entre el positivo y el pin de la señal, para realizar la calibración del sensor de temperatura se hace una comparación con una termocupla, para verificar que los valores arrojados por el sensor sean correctos, los cuales se pueden observar en la Figura 2:

	Sensor de temperatura (DS18B20)	Termocupla	Margen de error
Temperatura Ambiente	21°C	21.5°C	2.32%
Temperatura Alta	55.3°C	57°C	2.98%
Temperatura Baja	8.9°C	9°C	1.11%

Figura 2. Comparación termocupla y sensor de temperatura

Teniendo en cuenta la Figura 2, se puede ver que el margen de error es pequeño, por consiguiente, los datos arrojados por el sensor son válidos.

Sensor de pH (PH-4502C):

El pH indica la concentración de iones de hidrogeno H⁺, y esta dado en una medida de alcalinidad o acidez que puede variar de 0 a 14, de igual manera el sensor en particular (PH-4502C) mide la diferencia de potencial de dos electrodos. Dentro de la sonda hay un

electrodo de vidrio que es sensible al ion del hidrogeno que mencionamos anteriormente y el otro electrodo es de referencia (cloruro de plata). Para acondicionar esta señal de manera adecuada, se implementa junto con un microcontrolador el cual, por medio de un ADC (Conversor Analógico Digital) pueda obtener valores solamente positivos, ya que 0v representa un pH de 7 y este tiene que oscilar entre 0 y 14, se desconecta la sonda del módulo y se hace un corto entre el interior y el exterior del conector BNC, ajustando el potenciómetro hasta que la salida del módulo nos arroje un valor de 2.5V, este voltaje ahora representa un pH 7 y así puede oscilar entre los demás valores, sin tomar valores de voltaje negativos.

Para completar la calibración del sensor, se calcula la relación entre voltaje y pH, para esto tomamos dos valores de referencia de pH y medimos con la sonda el voltaje que nos arroja, con valores de referencia de pH 4.01 (solución referencia que viene con el sensor) y pH \approx 7 (agua) se obtienen 3.01V y 2.56V respectivamente, como la sonda es lineal podemos utilizar la siguiente formula:

$$y = mx + b$$

Ecuación 1

Tenemos dos puntos A ((3.01), (4.01)) y B ((2.56), (7))

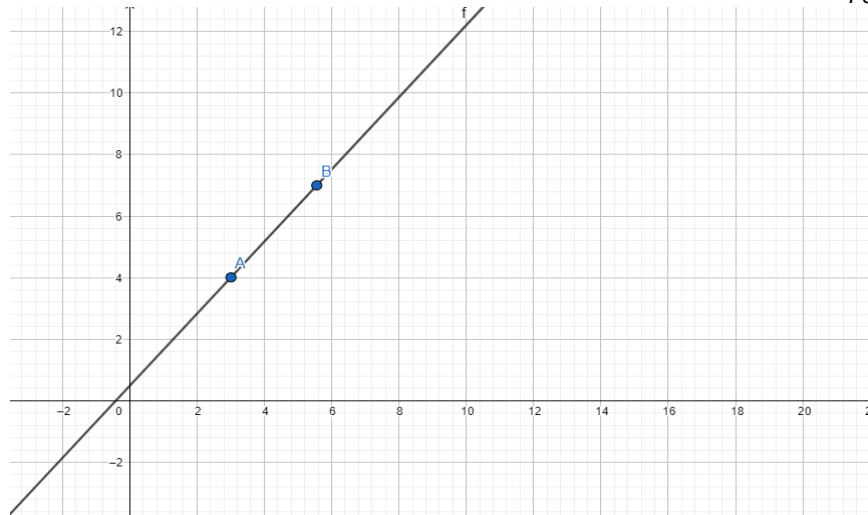


Figura 3 grafica en GeoGebra de los dos puntos de la recta A y B

Para hallar m:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{7 - 4.01}{2.56 - 3.01} = -6.64$$

Y para b, reemplazamos el punto B en la ecuación 1

$$b = -mx + y$$

$$b = -(-6.64)(3.01) + 4.01 = 23.99$$

Con estos pasos obtenemos la ecuación:

$$y = -6.64x + 23.99$$

Ecuación 2

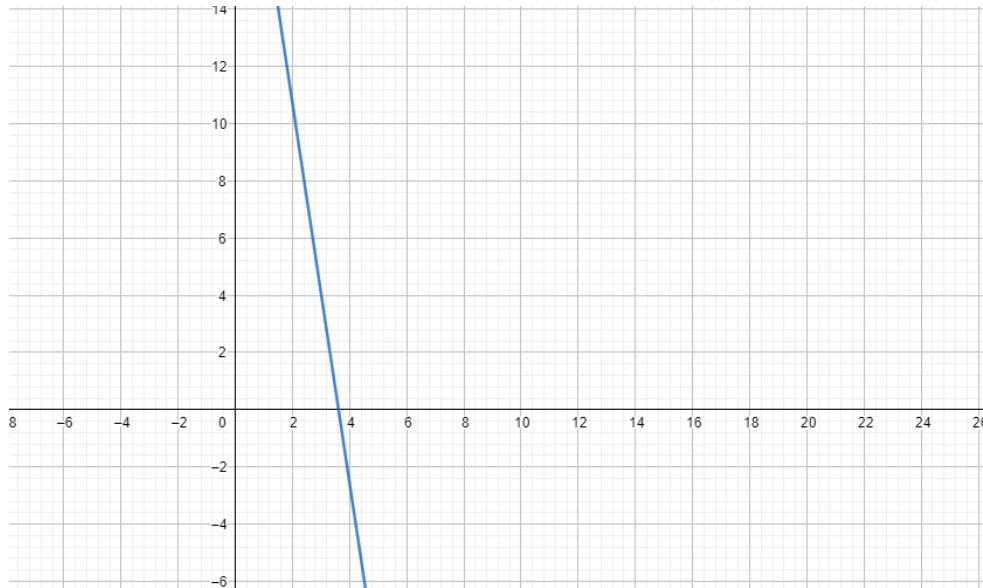


Figura 4 Gráfica de la ecuación de relación voltaje y pH. $y = -6.64 x + 23.99$

La ecuación 2 representa la relación entre el voltaje y pH donde Y es el pH y X el voltaje. [2]

Sensor de Turbidez (LGZD sensor v1.1):

La turbidez del agua se refiere a las partículas suspendidas en el agua como lo son tierra, sedimentos, plancton, etc. Entonces cuando se habla de un nivel bajo de turbidez el agua es clara y cuando el nivel de turbidez es alto se dice que el agua es turbia [3]. Teniendo en cuenta esto, el sensor de turbidez cuenta con un emisor y un receptor de luz infrarroja, entre mas partículas suspendidas estén en el agua, la absorción y el reflejo de la luz infrarroja será mayor, por consiguiente, mas oscura el agua (más turbia).

Para la calibración del sensor se debe ajustar la resistencia variable que se encuentra dentro del módulo del sensor, con el módulo conectado a la alimentación se ajusta hasta que en la salida salgan 4.2v, y finalmente según el fabricante [4] la turbidez (NTU) se obtiene a través de una parábola como se muestra en la figura 4.

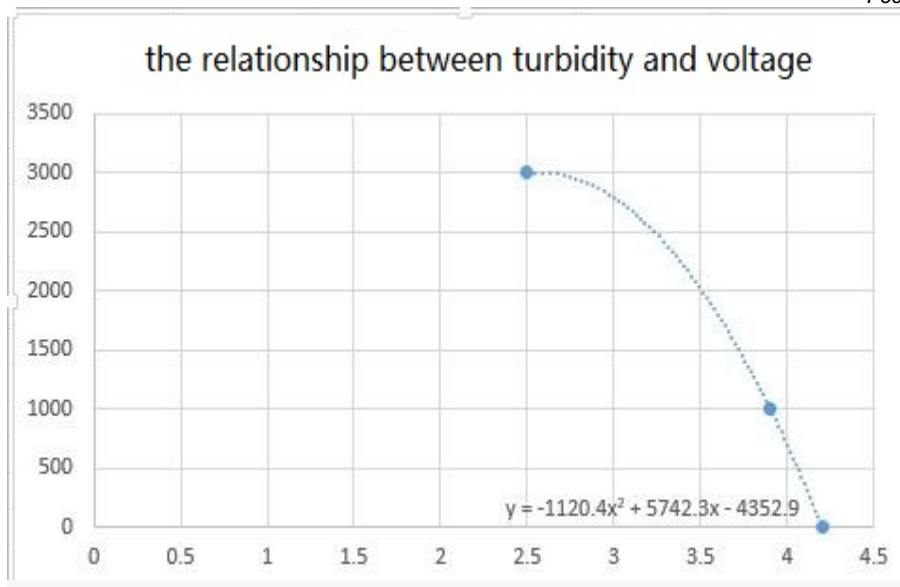


Figura 5 grafica relación voltaje y turbidez [5]

Entonces X será el voltaje entregado por el sensor y Y la turbidez (NTU).

$$y = -1120.4x^2 + 5742.3x - 4352.9$$

Ecuación 3

Utilizando la ecuación, para la calibración del sensor, para agua menos turbia arroja entre 0 y 240 NTU, y para agua bastante turbia arroja valores mayores a 600NTU. Estos valores indican que haciendo la relación de la ecuación 3 y la figura 5 el sensor estará en su funcionamiento óptimo.

Para la realización de la gráfica de voltaje respecto a la turbidez, se toman 3 muestras diferentes, con valores de turbidez de 924NTU, 689.9NTU y 356.6NTU, con sus respectivos voltajes 1.2V, 4V y 4.1V. Se puede observar en la figura 6

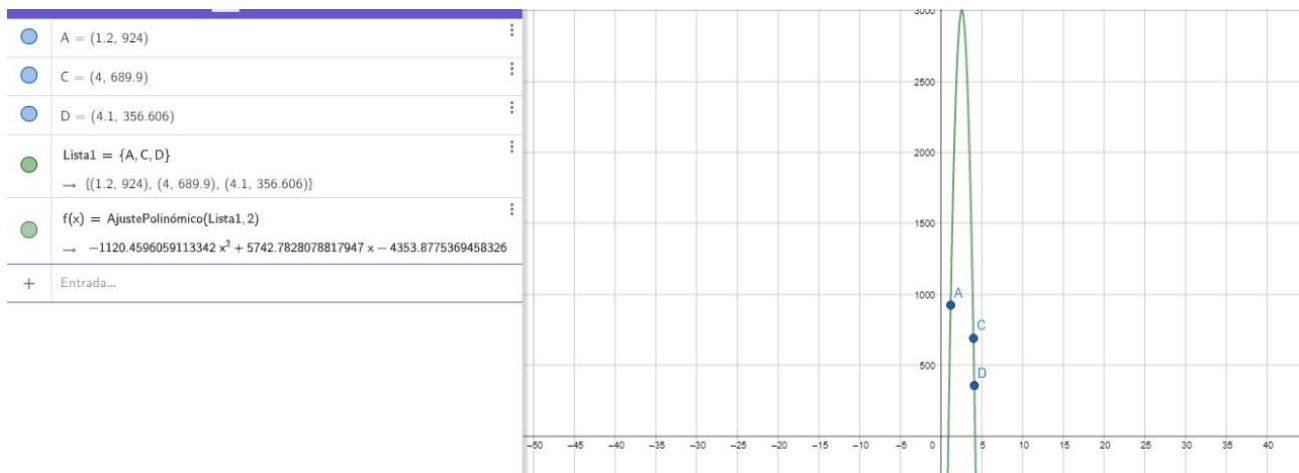


Figura 6 grafica relación voltaje y turbidez

2.2 Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se utiliza el microcontrolador ESP32 como se puede ver la figura 7. Se elige este microcontrolador porque nos proporciona todas las herramientas necesarias para la elaboración y cumplimiento del proyecto, este modulo nos permite acercarnos a aplicaciones IoT (Internet of Things), hacer integraciones con sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. [6].

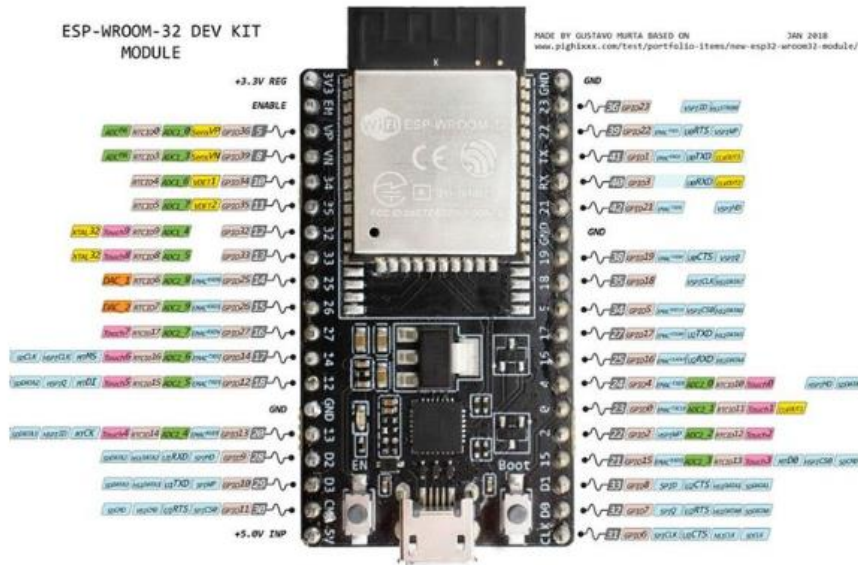


Figura 7. ESP32 [7]

Además el esp32 cuenta con 18 ADC integrados, lo que permite utilizarlo para la lectura de datos de los sensores análogos de turbidez y pH como ya se mencionó anteriormente, de igual manera al incluir pines digitales permite la conexión del sensor de temperatura, La desventaja de este módulo es que no cuenta con salida de 5v por lo que los sensores de pH y turbidez que se alimentan con este voltaje, no se pueden conectar directamente, para solucionar este problema se conectaron los sensores correspondientes a una fuente externa de 5v, y se unen todas las tierras como se puede ver en la figura 8.

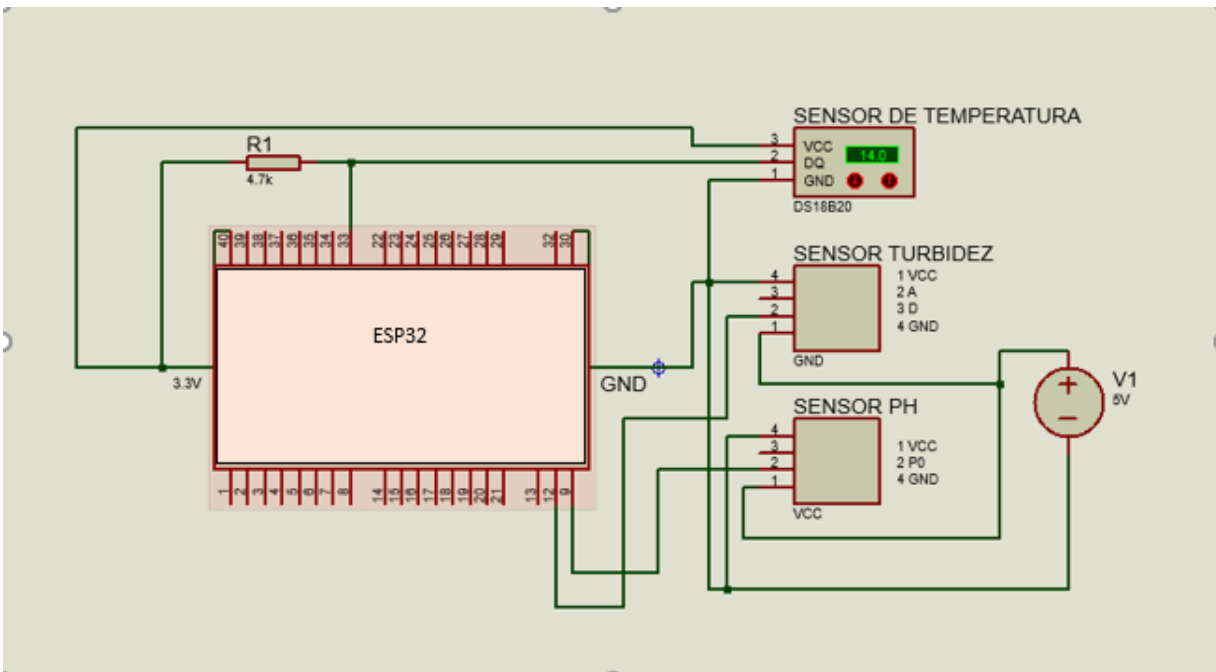


Figura 8 Circuito del sistema de censado (obtención de datos)

Finalmente teniendo los datos censados se conecta el ESP32 a internet gracias a que incorpora la funcionalidad Wi-fi. [8]

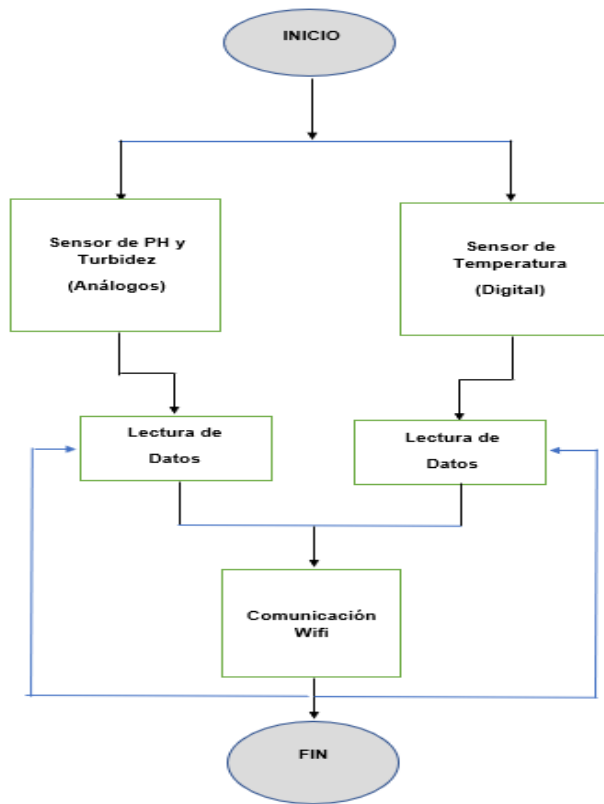


Figura 9 Diagrama para la obtención de Datos

En la figura 9 se puede ver el diagrama de bloques utilizado para la obtención de datos de los sensores en el programa del microcontrolador, primero se Inicia con la declaración de las librerías y las variables, posteriormente, en el programa principal se activan los componentes necesarios. Dentro del ciclo infinito se da paso al inicio de las conversiones requeridas, para finalmente leer y enviar los datos de los convertidos de los sensores en las variables usadas vía Wifi.

2.3 Comunicación y almacenamiento de Datos

Para la comunicación y el almacenamiento de los datos, estos son obtenidos por el ESP32 y se envían a la base de datos de Uniform Server en donde son almacenados. Uniform es una solución que incluye (Windows (sistema operativo), Apache (un servidor web), MySQL (base de datos relacional), y PHP) lo que se conocen como WAMP [9]. Es un servidor portable y ligero, ocupa menos de 10 MB, no requiere ningún tipo de instalación, además, no requiere de un registro previo para acceder al sistema [10]. De igual forma nos permite ingresar tablas dentro de la base de datos, como se puede ver la figura 10. La finalidad de la base de datos es almacenar datos de modo que resulte independiente a los programas que se están usando, su información queda guardada y almacenada con conexión de internet, la cual puede ser consultada en cualquier momento, esto permite tener un control mas amplio sobre los datos que se están obteniendo, y tener un registro de los mismos.

id	chipId	fecha	temperatura	PH	Turbidez
1	123456	2020-05-24 22:47:08	4.6	5.2	100.76
2	56787	2020-05-24 22:50:01	6.4	7	100.9
3	0	2020-05-25 08:27:45	18	6.08	499.85
4	0	2020-05-25 08:27:59	18	6.08	516.18
5	0	2020-05-25 08:28:12	18	6.08	495.76
6	0	2020-05-25 08:28:27	19.19	6.09	495.76
7	0	2020-05-25 08:28:42	24	6.07	516.18
8	0	2020-05-25 08:28:59	26.44	6.09	540.58
9	0	2020-05-25 08:29:42	27.13	6.12	544.64
10	0	2020-05-25 08:29:58	26.5	6.01	508.02
11	0	2020-05-25 08:30:11	25.94	6.08	516.18
12	0	2020-05-25 08:31:38	23.5	6.05	524.33
13	0	2020-05-25 08:34:49	19.12	6.1	536.52
14	0	2020-05-25 08:35:03	19	6.05	552.74
15	0	2020-05-25 08:35:17	18.87	6.14	544.64
16	0	2020-05-25 08:35:31	18.87	6.06	536.52
17	0	2020-05-25 08:35:45	18.75	6.03	536.52
18	0	2020-05-25 08:35:59	18.69	6.02	503.94
19	0	2020-05-25 08:38:13	18.62	6.04	503.94
20	0	2020-05-25 08:38:27	18.62	6.03	516.18
21	0	2020-05-25 08:38:41	18.58	6.07	532.46
22	0	2020-05-25 08:38:55	18.5	6	516.18

Figura 10 Base de Datos MySQL

Para enviar los datos se crean archivos PHP y HTML, por medio de estos archivos se envían los resultados a la base de datos.

```

1  <!DOCTYPE html>
2  <html>
3  <head>
4  <title>Formulario</title>
5  </head>
6  <body>
7  <form action="enviardatosphp.php" method="POST">
8  ChipID:<br>
9  <input type="text" name="chipid" ><br>
10 Temperatura:<br>
11 <input type="text" name="temperatura" ><br>
12 PH:<br>
13 <input type="text" name="PH" ><br>
14 Turbidez:<br>
15 <input type="text" name="Turbidez" ><br>
16 <input type="submit" name="Enviar" >
17 </body>
18 </html>

```

Figura 11 Código HTML

El código HTML lo que hace es comprobar que los datos se estén enviando adecuadamente, esto por medio de un formulario donde se ingresa un valor correspondiente a la temperatura,

turbidez y pH y luego se oprime enviar, si está funcionando correctamente aparece un mensaje “Datos enviados correctamente”, de igual forma nos permite verificar que el local host (dirección de internet local) si se este manejando adecuadamente y el envío de datos por internet se realice.

```
<?php
$conexion = mysql_connect("localhost", "root", "root");
mysql_select_db("proyecto", $conexion);
mysql_query("SET NAMES 'utf8'");

$chipid = $_POST ['chipid'];
$temperatura = $_POST ['temperatura'];
$pH = $_POST ['PH'];
$Turbidez = $_POST ['Turbidez'];

mysql_query("INSERT INTO `proyecto`.`tabla` (`id`, `chipId`, `fecha`, `temperatura`, `PH`, `Turbidez`) VALUES (NULL, '$chipid',
CURRENT_TIMESTAMP, '$temperatura', '$PH', '$Turbidez');");

mysql_close();

echo "Datos ingresados correctamente.";
?>
```

Figura 12. Código PHP para envío de datos a MySQL

El código PHP como ya se había mencionado anteriormente permite crear la tabla en la base de datos con las variables correspondientes y permite el envío de datos.

2.4 Interfaz

Para la interfaz y la visualización de datos en tiempo real, se utiliza la plataforma Adafruit.io, la cual, nos permite una amplia gama de propiedades que nos facilitan la comunicación con el internet de las cosas. La API (interfaz de programación de aplicaciones) de comunicación es basada en cliente MQTT el cual es un protocolo de conectividad Máquina-a-Máquina (M2M). Se diseñó como un transporte de mensajería de publicación / suscripción. [11][12]

Esta plataforma al mostrarnos los datos en tiempo real la hace adecuada para la implementación del prototipo, además de eso, almacena y recupera datos, esto, nos permite publicar los datos tanto de la temperatura, pH y turbidez en diferentes entornos gráficos. De igual manera esta plataforma esta integrada con IFTTT y Zapier los cuales son un servicio web que permite automatizar acciones entre diversas aplicaciones web [13]. Este conjunto de integraciones con las cuenta la plataforma nos permite publicar las variables en tres diferentes formatos, el primero, con una visualización gauge o calibración la cual esta codificada en color y en número, esto nos permite observar cuando el valor esta fuera de rango para saber si es mayor o menor al parámetro establecido, el segundo parámetro de visualización de los datos se hace atreves de un gráfico de línea, como bien su nombre lo indica grafica los valores en tiempo real, este lo hace conveniente ya que se puede observar lo que ocurre con los datos y las variaciones que tienen dichas variables en un determinado tiempo, y así predecir o analizar posibles problemas y cambios que han ocurrido con la temperatura, el pH y la turbidez del agua dentro del estanque, y finalmente se utiliza la visualización por medio de un stream o secuencia el cual se usa para ver el historial de datos de las variables, así como se puede ver en la figura 13. Se utilizan estas diferentes visualizaciones dentro del mismo entorno o plataforma (adafruit.io) con el fin de ofrecer al usuario opciones para el análisis y el control adecuado de la calidad del agua, y que esta permanezca dentro de los límites.

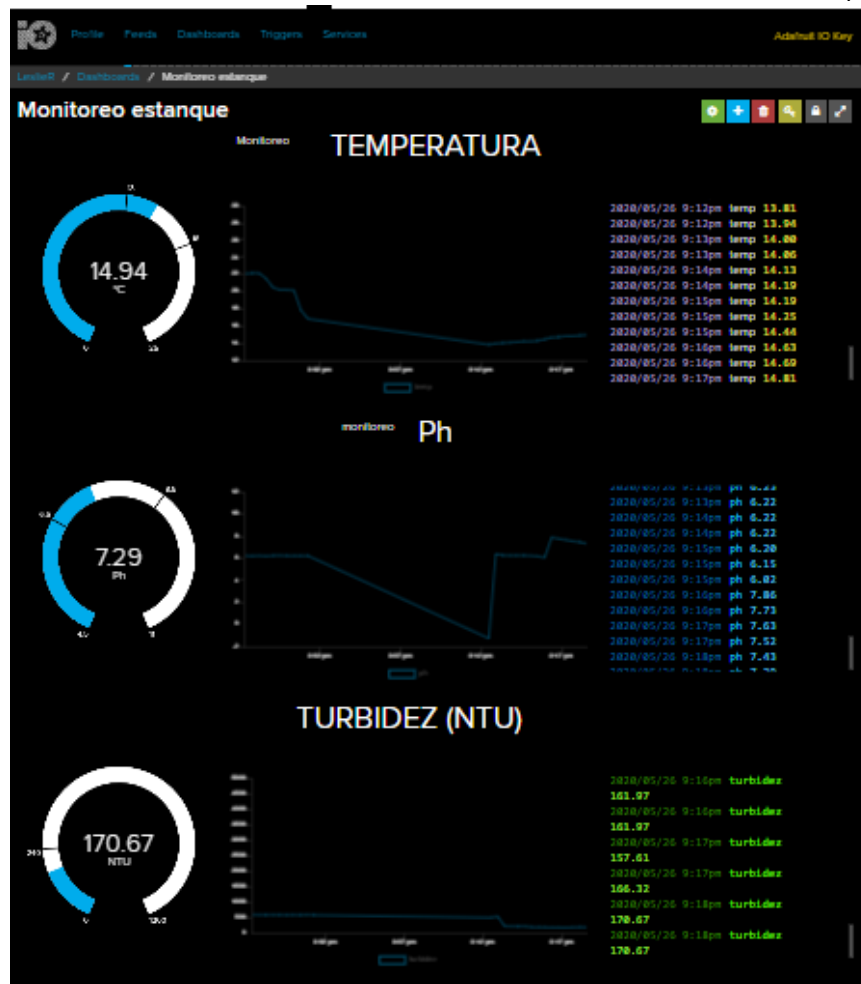
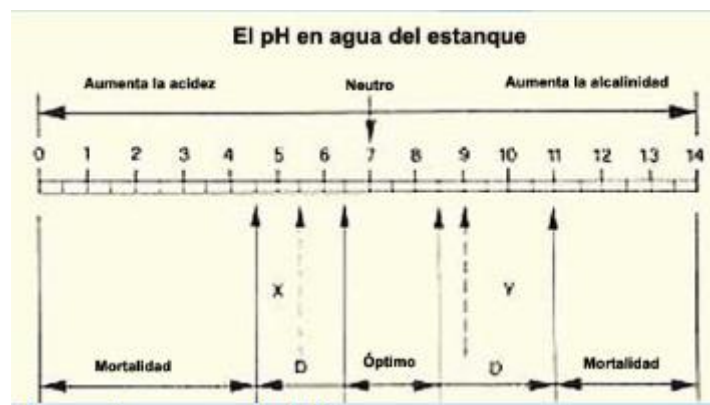


Figura 13 Interfaz de usuario

Finalmente, para completar la interacción con el usuario se crean alarmas, las cuales avisan al funcionario u operario cuando alguno de los parámetros ya sea temperatura, pH o turbidez no estén dentro de los parámetros establecidos, estas alarmas se crean por medio de unos triggers. Estos triggers o disparadores son funciones que se crean y se relacionan con un objeto, los cuales se activan cuando ocurre algo en particular con este objeto y/o función, estos procedimientos se ejecutan según instrucciones definidas cuando se lleven a cabo determinadas operaciones, en este caso cada vez que las variables enviadas son mayores o

menores a un determinado valor se generara una alarma, esta alarma se representan a través de un envío de mensajes por correo electrónico (Gmail), este correo contiene un mensaje donde se especifica cual es el parámetro que está en riesgo, si está por debajo o por encima de los rangos establecidos.[14]

Estos rangos fueron seleccionados ya que la especie en la que se enfoca este proyecto como primera instancia es en aquellos peces de agua fría. Para que los peces de este entorno puedan crecer y reproducirse, según FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) el pH en el agua del estanque puede tener una variación entre 6,5 y 8,5 para una apropiada producción de los peces en estanques. La mayor parte de los peces de cultivo muere en aguas con un pH inferior a 4,5 o con un pH igual o superior a 11, de igual forma, la reproducción de los peces se puede ver afectada en aguas cuyo pH es inferior a 5,5, mientras que un pH superior a 9 puede ser dañoso para los huevos de los peces, así como vemos en la figura 14. [15]



Figuran 14 pH dentro del agua en el estanque [12]

De igual Forma la temperatura de los peces de agua fría, necesitan una temperara inferior a 15° C para reproducirse, difícilmente sobreviven mucho tiempo a temperaturas superiores a 25°C, por lo que rango apropiado es de 13°C a 18°C. En la figura 15 se pueden ver estos rangos de manera más precisa [16].

Parámetro	Rango	Óptimo
Oxígeno (ppm)	7,5 a 12	8,5
Temperatura (°C)	13 a 18	15
pH	6,5 a 8,5	7

Figura 15 Tabla parámetros para la calidad del agua en un estanque de truchas (pez de agua fría). [13]

Por ultimo la turbidez se mide en unidades de NTU o en sólidos en suspensión (SS), por lo general los rangos para los estanques piscicultores son establecidos en SS, y teniendo en cuenta que el sensor utilizado en este proyecto toma muestra en unidades (NTU), se hace la conversión teniendo en cuenta que 1 mg/l (ppm) equivale a 3 NTU [17]. Los rangos de turbidez para este tipo de pez son: para solidos suspendidos menor a 80mg/l y para solidos disueltos menor a 400mg/l, esto equivale a 240 NTU y 1200 NTU respectivamente. [18].

Con la anterior información se establecieron los rangos para las alarmas de la siguiente manera, cuando la temperatura este dentro del rango de 13°C a 18°C el grafico gauge o calibración permanecerá en azul, si es mayor o menor a estos valores se mostrara en amarillo y se enviara la alerta por correo automáticamente con el mensaje “temperatura fuera de rango óptimo”, y si esta temperatura es mayor a 25°C o menor a 0°C, pasara a un color rojo y la alerta avisara que esta fuera del límite y están en riesgo los peces. Esto se puede observar en la figura 16 y 17. De manera similar sucede para la alarma del pH, con los rangos de 6,5 a 8,5 estará en rango optimo, si sobre pasa estos valores la alerta avisara que se está fuera del rango y si es mayor a 11 e inferior a 4,5 se alertara estado en riesgo, por otro lado para la variable

Turbidez si pasa de 240 NTU sobre pasa el rango optimo y si este valor es mayor a 1200 NTU entra en alerta fuera de limite. Como se ve en la figura 18.

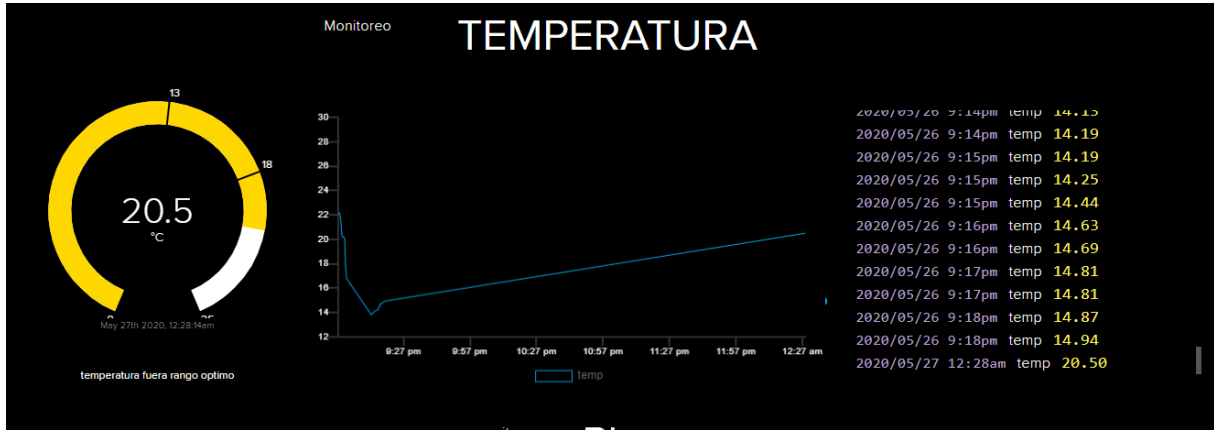


Figura 16 interfaz gráfica con el estado de la temperatura fuera del rango

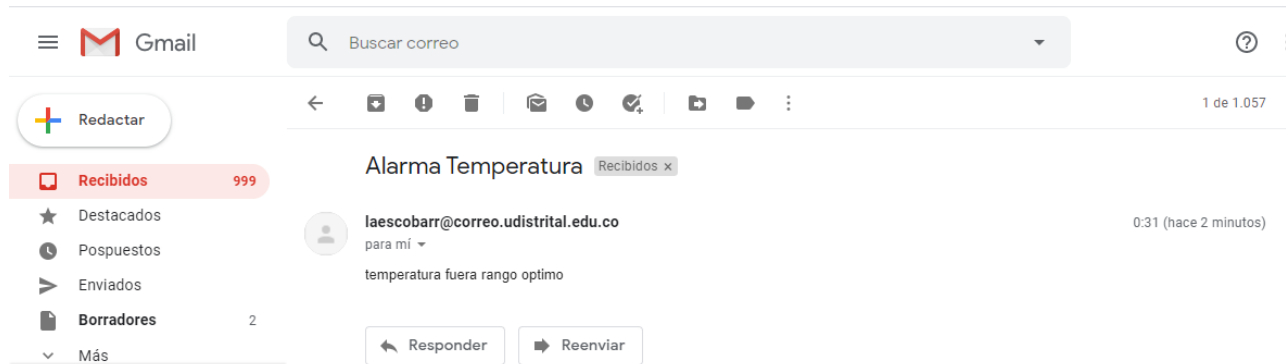


Figura 17 mensaje enviado como alarma al correo electrónico (automáticamente)

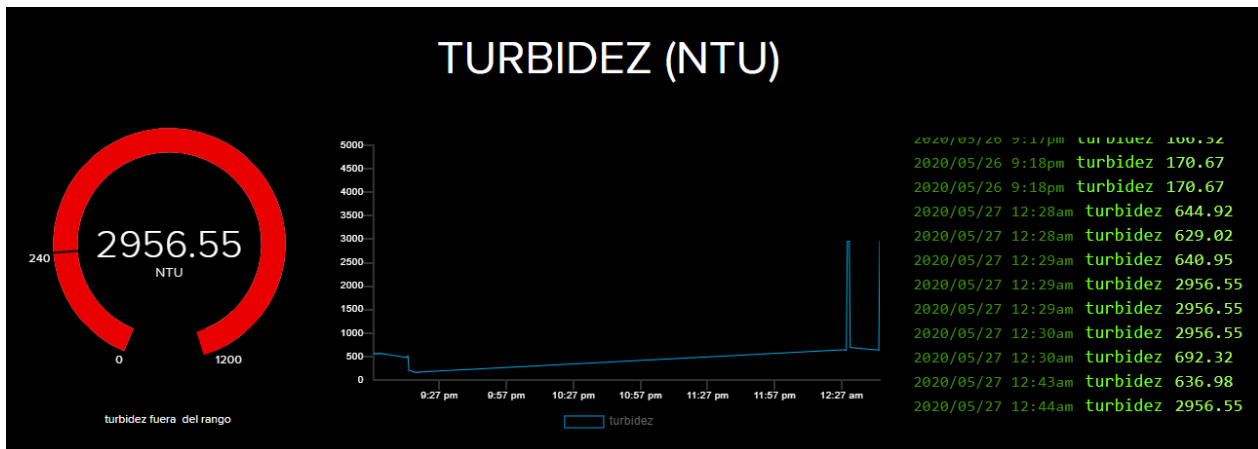


Figura 18 interfaz gráfica con el estado de turbidez fuera del límite

Cabe resaltar que estos parámetros se pueden cambiar y/o modificar de acuerdo al requerimiento o la necesidad que presente cada cultivo de peces en donde se va a realizar el censado.

2.6. Estructura mecánica / prototipo

Para el prototipo se tuvieron en cuenta varios factores fundamentales. Como el prototipo debe estar flotando en el estanque, se tenía que tener en cuenta, la impermeabilización, la estabilidad y la toma de muestras.

De esta Manera el prototipo consta de tres partes, la primera es la parte inferior que va sumergida para darle la estabilidad a la parte superior, esta es la zona por donde salen las sondas hacia el estanque, con una altura $\approx 7\text{cm}$ y un radio $\approx 7\text{cm}$. La parte intermedia se realizo en forma de cono, en esta parte se encuentra toda la parte electrónica, por lo que esta totalmente sellada para evitar el ingreso de agua y que no genere daños dentro del sistema, esta sección se dividió en dos partes, generando así dos pisos distribuidos de la siguiente manera, en el primer piso (parte de abajo) se encuentra la alimentación ya que debido a su peso nos genera el equilibrio suficiente y que el prototipo no se voltee, y en el segundo piso(Parte de arriba), se encuentran los módulos de los sensores y el microcontrolador, con una altura de $\approx 16\text{cm}$, un radio inferior $\approx 7\text{cm}$ y un radio superior $\approx 12\text{cm}$, con una tapa cónica para finalizar el sellado, como se observa en la figura 16. Finalmente, para lograr una toma de datos adecuada y evitar que las sondas se dispersaran y floraran alrededor del prototipo, las sondas se implementaron en una base de radio $\approx 7\text{cm}$ y

con una altura no superior a los 5mm, esta base cumple la función de que las sondas estén totalmente sumergidas de manera vertical debajo del prototipo.

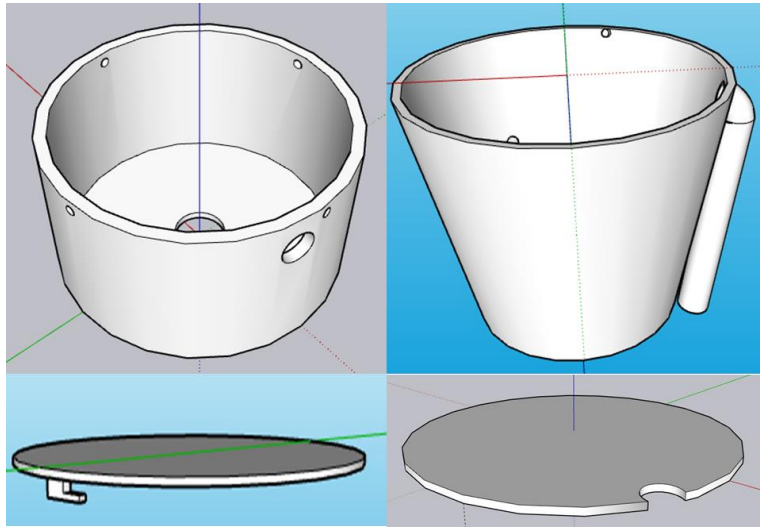


Figura 19 modelo 3d del prototipo.



figura 20 prototipo final.

Finalmente, para conocer la autonomía del prototipo se tuvo en cuenta la potencia en Wh que nos entrega la alimentación, el prototipo se alimenta con una batería que tiene como características: input: 5V-1A, output: 5V-2.1A lo que da una capacidad de 11.1Wh (2.5h). El sensor de temperatura tiene un consumo de 4.95mW, el sensor de pH tiene un consumo de 500mW, el consumo del sensor de turbidez es 150mW, y del ESP32 según su hoja técnica su consumo es 340mW. Realizando la suma de todos los circuitos implementados nos da

una potencia de 1W, y hallando su factor de error con la potencia de los circuitos nos da un consumo total de 1.5W. Teniendo en cuenta esos parámetros con el prototipo funciona al 100% la autonomía del mismo será de 2h, sin embargo, la fuente de alimentación puede durar un tiempo mayor a 2h en descargarse.

3. Pruebas Y Resultados

Ante la respuesta del prototipo se evidencio la importancia de los sensores y su calibración, ya que con este proceso se permitió la adquisición de los datos y lectura de las variables evidenciando así cual es el estado actual del mismo (si se encuentra dentro del rango óptimo, fuera de este, o en estado de riesgo), con el fin de generar una alerta cuando se presente un cambio, permitiendo de esta forma el correcto análisis del problema (en caso de haberlo) y darle una solución de manera inmediata para que este no cause daños en los peces que habitan el estanque, todo esto a través del mando y vigilancia a distancia, evitando desplazamientos del operario y mejorando de esta forma los tiempos de trabajo.

Los tiempos de monitoreo de las variables temperatura, pH y turbidez de acuerdo a las características de un estanque RAR (entrada directa de agua) encontrado en Acuapónicos La Mariana SAS, se realizan cada ocho días, con una duración aproximada 10 minutos. Debido a que esto se realiza en un tiempo de 8 días puede presentar variación en ese lapso de tiempo y causar algún daño en el cultivo. Este proceso presenta una mejora ya que el prototipo tiene una autonomía de 2h, este puede realizar un censado constante las veces que el piscicultor lo considere necesario ya sea varias veces al día y/o diariamente sin generar algún costo adicional para realizar las pruebas deseadas.

Por tal razón se hace el siguiente análisis, se obtuvo un prototipo electrónico que monitorea la calidad del agua para un estanque piscícola, realizando la toma de datos con los sensores establecidos inicialmente temperatura, pH y turbidez, se realiza una comunicación wifi utilizando el microcontrolador (ESP32) el cual es de bajo costo, con un módulo wifi incorporado que se puede programar en varios entornos como Arduino, Python y demás IDE, tiene un tamaño apropiado para su implementación, estas capacidades permiten una facilidad para la programación del microcontrolador y establecer una comunicación apropiada, es una manera practica y eficiente de desarrollar aplicaciones de IoT debido a la gran comunidad y el gran número de software compatibles y librerías existentes para la programación del mismo, adicionalmente su peso es mínimo por lo tanto no desestabiliza el prototipo. El ESP32 tiene conectado los tres sensores mencionados anteriormente, con los datos suministrados por estos sensores, el microcontrolador envía los resultados a la base de datos en Uniform Server donde se almacenan, para realizar el proceso de almacenamiento, también se creó un documento PHP y HTML, también tiene una conexión con adafruit.io donde se utiliza IoT para poder visualizar los valores en cualquier parte del mundo y desde cualquier servidor, adicionalmente se crearon graficas con respeto al tiempo, estas graficas son de fácil ajuste para que el usuario las vea respecto a un tiempo determinado, una hora, 4 horas, 24 horas etc. Para el análisis de los mismos, también se utiliza esta plataforma ya que nos permite generar visualizaciones interactivas y específicas sobre el estado de las variables, para complementar esta interacción e interpretación de resultados, se crean alertas, estas alertas son generadas automáticamente cuando se crea un cambio significativo en los parámetros establecidos, estas notificaciones llegan a quien se requiera a través de un correo electrónico e incluso por diferentes aplicaciones móviles, si se requiere, solo con el uso oportuno y adecuado de los triggers como se puede ver en la figura

20, ampliando así su cobertura y garantizando que esta alarma sea recibida de manera efectiva y se pueda actuar oportunamente según sea el caso.

LeslieR / Triggers

ID	Created	Last Action	Description	Action	Run Count
21555	2020/05/26...	2020/05/27...	If temp is greater than "18" then set Alarma temperatura to "temperatura fuera rango optimo".	Feed	18
21556	2020/05/26...	2020/05/26...	If temp is less than "13" then set Alarma temperatura to "temperatura por debajo de rango óptimo".	Feed	11
21557	2020/05/26...		If temp is greater than "25" then set Alarma temperatura to "temperatura muy alta, se encuentra fu...	Feed	0
21560	2020/05/26...		If temp is less than "0" then set Alarma temperatura to "temperatura muy baja, se encuentra fuera ...	Feed	0
21561	2020/05/26...		If ph is greater than "8.5" then set Alarma pH to "pH fuera del rango optimo".	Feed	0
21562	2020/05/26...		If ph is greater than "11.0" then set Alarma pH to "pH muy alto, se encuentra fuera de los limites, es...	Feed	0
21563	2020/05/26...	2020/05/27...	If ph is less than "6.5" then set Alarma pH to "pH por debajo del rango óptimo".	Feed	36
21564	2020/05/26...	2020/05/27...	If ph is less than "4.5" then set Alarma pH to "pH muy bajo, se encuentra fuera de los limites, estad...	Feed	26
21565	2020/05/26...	2020/05/27...	If turbidez is greater than "240.0" then set Alarma Turbidez to "turbidez fuera del rango".	Feed	22
21566	2020/05/26...	2020/05/27...	If turbidez is greater than "1200.0" then set Alarma Turbidez to "Agua muy turbia, se encuentra fuer...	Feed	4

Loaded in 0.99 seconds.

Figuran 20 implementaciones de triggers para la generación de alarmas.

Teniendo en cuenta lo anterior se logra automatizar este proceso, haciendo de este más autónomo, mejorando el censado y el monitoreo del estanque. Al mejorar este proceso se disminuye la mortandad de peces y enfermedades en los mismos, creada por cambios en la temperatura, pH muy elevado o muy bajo y en la turbidez del agua, ya que al tener una reacción más inmediata se logra controlar y superar el riesgo de manera oportuna haciendo de la crianza y la producción de peces un proceso más eficiente.

Los pasos a seguir para poner en funcionamiento el prototipo son:

1. se coloca el prototipo dentro del estanque que se desea monitorear para que el dispositivo empiece a tomar valores y censar el estanque.

2. Se ingresa a la plataforma de adafruit.io con usuario y contraseña para visualizar los datos, gráficos y esquemas, si se está lejos del lugar donde se encuentra el prototipo, se puede realizar desde cualquier computador, como se observó en figuras anteriores.

3. Se ingresa a la base de datos para visualizar el almacenamiento de los datos recolectados, para poder realizar la visualización de esta base de datos desde un lugar lejos de donde se encuentra el prototipo se debe tener el computador donde se encuentra la base de datos y conexión a internet.

4. La alarma es enviada de manera automática una vez se presente algún cambio.

Al ser un prototipo tan versátil su implementación es de fácil manejo, debido a que los valores de los rango y parámetros pueden ser modificados de acuerdo a las especificaciones del cultivo piscícola a censar, su uso puede ser para monitoreo de estanque de peces de agua fría o aguas cálidas, en diferentes lugares y entornos.

Para asegurar que el sistema funcionaba correctamente se hizo un monitoreo constante durante 2h en tiempo real. Como los resultados se censan cada 7seg, se tomó una pequeña muestra de los resultados los cuales se representaron en la siguiente tabla:

FECHA	temperatura	pH	Turbidez
2020-05-25 10:02:18	13.81	6.23	161.18
2020-05-25 10:02:29	13.94	6.30	161.74
2020-05-25 10:02:41	14.00	6.85	157.46
2020-05-25 10:02:52	14.06	6.85	157.18
2020-05-25 10:03:06	14.00	7.02	157.85
2020-05-25 10:03:18	14.10	7.78	166.52
2020-05-25 10:03:29	14.25	7.45	170.74
2020-05-25 10:03:40	14.44	7.60	170.1
2020-05-25 10:03:52	14.63	7.61	170.02
2020-05-25 10:04:03	14.60	7.60	170.18
2020-05-25 10:04:14	14.60	7.65	170.02
2020-05-25 10:04:25	14.56	7.67	170.85
2020-05-25 10:04:37	14.60	7.66	170.56
2020-05-25 10:04:48	14.81	7.63	170.52

Figura 21 Fecha y valores censados (datos tomados de la base de datos)

El promedio de los resultados arrojó

Temperatura promedio: 14.36 °C

pH promedio: 7.33

Turbidez promedio: 166.87 NTU

En este transcurso de tiempo las variables permanecieron en los rangos establecidos, con excepción de una toma de Ph en la fecha y hora 2020-05-25 10:02:18 igual a 6.23, en este momento se arrojó la alerta, luego se volvió a estabilizar la variable y permaneció en el rango óptimo.

4. Conclusiones

Con este sistema de monitoreo de la calidad del agua se facilita la tarea de los trabajadores de los estanques piscícolas ya que es totalmente autónomo, además que se puede estar vigilando constantemente por medio de la interfaz, reduciendo tiempo en los procesos, y el mejoramiento del mismo, permitiendo actuar más rápido si se presenta algún problema, y resolverlo de manera inmediata.

Se evidencia que el uso de la interfaz y el entorno gráfico puede proporcionar datos y herramientas para el proceso de verificación y control de la calidad del agua, considerando que la información puede ser consultada en cualquier momento y desde cualquier dispositivo con acceso a internet. Es entonces necesario implementar una interfaz gráfica sencilla, dinámica y estética, de tal manera que se pueda entender e interpretar la información recibida desde el dispositivo.

Los sensores que se utilizaron pudieron obtener la información necesaria, un factor importante a tener en cuenta es la calibración de los mismos, con esto se pudo obtener una precisión mayor en los resultados.

Aplicando los avances tecnológicos como el IoT, se puede adecuar el prototipo para ser usado en diferentes lugares con diferentes parámetros, manteniendo un servidor el cual puede almacenar las variables que se dan en el proceso del monitoreo, para así poder facilitar



Preparación de Artículos revista VISIÓN ELECTRÓNICA: algo más que un estado sólido

Fecha de envío:

Fecha de recepción:

Fecha de aceptación:

seguridad en los datos, monitoreo y tener registro de la publicación de los datos.

La selección del microcontrolador fue apropiada, dado que tiene un bajo costo en el mercado, y aporta las funcionalidades apropiadas para la realización del proyecto, como lo fue la adaptación de los sensores, las comunicaciones necesarias a utilizar, destacando la comunicación con la plataforma adafruit.io y el envío de datos a MySQL mediante comunicación Wi-Fi.

Se desarrolló el prototipo de monitoreo del estanque, implementado alarmas o alertas, con un tiempo de respuesta de forma rápida y precisa, permitiendo un proceso más efectivo y evitando así mismo pérdidas de producción.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Science and technology, "How to use a pH sensor with Arduino ", Marzo 2017. [En línea]. Disponible en: <https://scidle.com/how-to-use-a-ph-sensor-with-arduino/>
- [2] Gonzalez. Carmen, "Monitoreo de calidad del agua pH", Octubre 2011. [En línea]. Disponible en: <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-862/maguaph.pdf>
- [3] Rodriguez. E, "Turbidez", Agosto 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.reitec.es/web/descargas/agua05.pdf>
- [4] DFROBOT, "Turbidity sensor SKU SN0819", Noviembre 2016. [En línea]. Disponible en: https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189
- [5] Bertoleti. L Pedro, Paiotti. Renato, Leca. Rosa, "Proyectos con ESP32 y loRa". editorial NCB, 2010, 80-85 pp.
- [6] ORACLE COLOMBIA, "¿Por qué son importantes las IoT?", Junio 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.oracle.com/co/internet-of-things/what-is-iot.html>
- [7] HOWTO, "Circuitos: ESP32 con protocolo ESP-Now: 16 pasos - 2020", Noviembre 2019. [En línea]. Disponible en: <https://es.howto-wp.com/93302-ESP32-With-ESP-Now-Protocol-22>
- [8] E. Y. Rodríguez, L. F. Pedraza Martínez, y D. A. López Sarmiento, «DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN REMOTA PARA EL MONITOREO DE UNA MÁQUINA SOPLADORA DE BOTELLAS», Vis. Electron., vol. 5, n.º 1, pp. 89-102, nov. 2011.
- [9] A. F. Calvo Salcedo, A. Bejarano Martínez, y A. Castillo González, «Diseño prototipo de una red de sensores inalámbricos», Vis. Electron., vol. 12, n.º 1, pp. 43-50, may 2018.
- [10] WMPO, "The Uniform Server, un WMPO aún más fácil de usar", Agosto 2017. [En línea]. Disponible en: <https://1y2tres.com/2013/02/01/the-uniform-server-un-wamp-aun-mas-facil-de-usar/>
- [11]. RED HAT, "Que son las API? Y para que funcionan", Enero 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>
- [12] Repository, "PLATAFORMA ROBÓTICA SEGUIDORA DE RADIACIÓN SOLAR EVASORA DE OBSTÁCULOS." Agosto 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/22442/3/AceroRojasJuanDavid2019.pdf>

- [13] PIPEDRIVE, “Introducción a Zapier - Qué es y cómo se usa” Enero 2018. [En línea]. Disponible en: <https://support.pipedrive.com/hc/es/articles/206743479-Introducci%C3%B3n-a-Zapier-Qu%C3%A9-es-y-c%C3%B3mo-se-usa>
- [14] H. J. Eslava Blanco, N. Serrano P., y F. A. Castro, «SISTEMA DE ALERTA DE RIESGOS EN HOGARES MEDIANTE SMS», Vis.Electron., vol. 6, n.º2, pp. 15-30, feb. 2012
- [15] CALIDAD DEL AGUA , “MEJORA CALIDAD DE AGUA EN LOS ESTANQUES ”: 16 pasos - 2020”, Septiembre 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm#7a
- [16] Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura, “Manual práctico de cultivo de trucha arcoíris”, Abril 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>
- [17] Tecno Converting Engineering , “¿Que es la NTU?”, Marzo 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnoconverting.es/articulos-tecnicos/que-es-la-ntu/>
- [18] ISSUU , “¿MANUAL BASICO PARA EL CULTIVO DE TRUCHA ARCO IRIS-1?”, Noviembre 2009. [En línea]. Disponible en: <https://issuu.com/lcamues/docs/manual-basico-para-el-cultivo-de-trucha-arco-iris-/12>