

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Diseño de un sistema de monitoreo y control de la calidad de agua para piscinas  
de uso recreativo

INGE-2307

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecatrónica**

Presentado por:

Josué Israel Demera Carranza

Shirley Fernanda Torres Quimi

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## **Dedicatoria**

---

El presente proyecto lo dedico a mis padres, Jaime Demera y Mariana Carranza, además de mi hermana Alisson Demera. Gracias a su apoyo me han permitido cumplir con los estándares necesarios para lograr mi formación profesional y poder superar una gran cantidad de adversidades a lo largo de mi carrera

**Josué Demera**

## Dedicatoria

---

Dedico mi tesis a quienes me ayudaron y apoyaron incondicionalmente.

A mis padres, Ing. Luis Torres y Shirley Quimi, cuyo amor y sacrificio han sido la fuerza propulsora detrás de mis logros académicos.

A mi amado esposo, Jorge Demera, mi compañero de vida y mi mayor apoyo incondicional. Tus palabras de aliento, paciencia infinita y comprensión hicieron que este desafío fuera más llevadero.

A mis abuelitos, Mamita Mina, Mamita Diosa, Papito Johnny y Papá Segundo, quienes, a pesar de no estar físicamente presentes, su amor ha dejado una huella imborrable en mi corazón, y sé que están sonriendo desde algún lugar, compartiendo este logro conmigo.

A mi gata, Nadia, mi fiel compañera de estudio. Tu ronroneo reconfortante y tu amor, los llevaré siempre en mi corazón. Gracias por tu lealtad incondicional.

**Shirley Torres**

## Agradecimientos

---

Mi más sincero agradecimiento a mis padres y hermana. Gracias a sus palabras de aliento y motivación he podido llegar a donde estoy.

**Josué Demera**

## Agradecimientos

---

Querido papá y mamá, agradezco profundamente cada esfuerzo y sacrificio que han hecho por mí.

Mi amor, Jorge, gracias por creer siempre en mí incluso cuando yo dudaba de mis propias capacidades.

Mi tía Vanessa, agradezco tu constante estímulo y palabras de aliento.

Gabriel Guevara, gracias por tu paciencia y disposición para explicarme aquellos temas difíciles. Jeanpiere Benalcázar, gracias por tu ánimo y recomendaciones.

Mario Álava, gracias por cada risa, chisme y por tu honestidad. Josué Bajaña, gracias por tu apoyo y por ser tan único. Ustedes han sido mi red de apoyo y los mejores amigos que pude encontrar en la carrera.

Un agradecimiento especial a mis docentes. Al M.Sc. Efraín Terán, de quien he aprendido mucho con sus enseñanzas y sabiduría y al Ph.D. Jorge Hurel, quien me ha guiado en todo este camino.

**Shirley Torres**

## **Declaración Expresa**

---

Nosotros, Josué Israel Demera Carranza y Shirley Fernanda Torres Quimi, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor de los autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, febrero del 2024.



---

Josué Israel Demera Carranza



---

Shirley Fernanda Torres Quimi

## **Evaluadores**

---

**Efraín Terán, M.Sc.**

Profesor de la materia

---

**Jorge Hurel, Ph.D.**

Profesor tutor

## Resumen

Este proyecto aborda la problemática del mantenimiento inadecuado del agua en piscinas recreativas, que afecta a la salud de los bañistas y causa daños estructurales. Se busca el desarrollo de un sistema de monitoreo y control en tiempo real que permita minimizar estos riesgos, mediante el control de parámetros físicos y químicos del agua.

Mediante una placa Arduino Nano y ESP32 se logró la lectura, procesamiento y envío de datos necesarios para el control de la piscina de forma remota, además del uso de herramientas de desarrollo de software, como Flutter, para la creación de una aplicación móvil.

Se diseñó una carcasa protectora para contener los distintos elementos electrónicos y controlar diversos actuadores, asimismo, un módulo de acople para los sensores. Se logró la detección de los valores de temperatura, pH, potencial de desinfección, nivel de agua y sólidos disueltos, así como el control de temperatura, nivel de agua, niveles de pH y ORP a través de una aplicación móvil.

Los resultados muestran un sistema capaz de realizar las debidas lecturas y conectarse de forma remota con la aplicación móvil, además de presentar métodos de control *On-Off*, proporcional y PID.

**Palabras Clave:** control automático, parámetros físicos y químicos, salud, aplicación móvil, piscina



## Abstract

*This project addresses the problem of inadequate water maintenance in recreational pools, which affects the health of swimmers and causes structural damage. The development of a real-time monitoring and control system that allows these risks to be minimized is sought through the control of physical and chemical parameters of the water.*

*Using an Arduino Nano and ESP32 board, the reading, processing and sending of data necessary to control the pool remotely was achieved, in addition to the use of software development tools, such as Flutter, to create a mobile application.*

*A coupling module for the sensors and a protective casing was designed. The casing contains the different electronic elements and control various actuators. Detection of temperature, pH, disinfection potential, water level and dissolved solids values was achieved, as well as control of temperature, water, pH and ORP levels through a mobile application.*

*The results show a system capable of taking the proper readings and connecting remotely with the mobile application, in addition to presenting On-Off, proportional and PID control methods.*

**Keywords:** *automatic control, physical and chemical parameters, health, mobile application, pool*

## Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VII
Simbología.....	VIII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas.....	XI
Índice de planos.....	XII
Capítulo 1.....	1
1.1  Introducción.....	2
1.2  Descripción de la problemática.....	8
1.3  Justificación del problema.....	9
1.4  Objetivos.....	10
1.4.1  Objetivo general.....	10
1.4.2  Objetivos específicos.....	10
1.5  Marco teórico.....	10
1.5.1  Internet de las cosas (IoT).....	10
1.5.2  Placas de desarrollo programables.....	11
1.5.3  Comunicación entre dispositivo y la nube.....	12
1.5.4  Servicio de base de datos Realtime Database.....	12
1.5.5  Elementos y funcionamiento básico de una piscina.....	13

1.5.6	Parámetros físico-químicos de la calidad de agua de las piscinas.....	14
1.5.6.1	Parámetros físicos .....	14
1.5.6.2	Parámetros químicos .....	16
1.6	Estado del arte.....	17
Capítulo 2.....		20
2	Metodología.....	21
2.1	Requerimientos de diseño .....	21
2.2	Selección de alternativas de solución.....	22
2.3	Proceso de diseño .....	25
2.4	Diseño conceptual .....	26
2.5	Parámetros de diseño electrónico.....	28
2.5.1	Selección de sensores.....	29
2.5.1.1	Sensor de temperatura DS18B20 .....	29
2.5.1.2	Sensor de pH .....	30
2.5.1.3	Sensor ORP .....	32
2.5.1.4	Sensor TDS .....	33
2.5.1.5	Sensor de nivel de agua.....	34
2.5.2	Elección de actuadores.....	35
2.5.2.1	Bombas peristálticas.....	35
2.5.2.2	Módulo relé .....	36
2.5.3	Parámetro de control.....	36

2.5.3.1 Selección de placas programables .....	39
2.5.4 Diseño de circuito eléctrico .....	41
2.6 Parámetros de diseño informático .....	45
2.6.1 Programación de controladores.....	45
2.6.2 Diseño de base de datos .....	46
2.6.3 Diseño de la interface de visualización.....	47
2.7 Parámetros de diseño mecánico .....	47
2.7.1 Diseño de carcasa protectora .....	47
2.7.2 Diseño de módulo adaptador para probetas .....	48
Capítulo 3.....	49
3.1 Resultados y análisis .....	50
3.1.1 Diseño mecánico del dispositivo .....	50
3.1.2 Ubicación del dispositivo con sus sensores .....	52
3.1.3 Diseño electrónico del sistema .....	55
3.1.3.1 Consumo eléctrico .....	59
3.1.4 Diseño informático .....	61
3.1.5 Diseño del sistema de control.....	64
3.1.6 Análisis de costos .....	69
Capítulo 4.....	73
4.1 Conclusiones .....	74
4.2 Recomendaciones .....	75

Referencias..... 77

Apéndices..... 89

## Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ORP	Potencial de oxidación y reducción
TDS	Total de sólidos disueltos
IoT	Internet de las cosas
IDE	Entorno de desarrollo integrado
SDK	Kit de desarrollo de software
LCD	Pantalla de cristal líquido
RGB	Rojo, verde y azul
PWM	Modulación por ancho de pulso
SQL	Lenguaje de consulta estructurada
PVC	Policloruro de Vinilo
GB	Giga byte

**Simbología**

pH Potencial de Hidrógeno

mV Mili voltios

ppm Partículas por millón

mA Mili amperios

°C Grado Celcius

mg Mili gramos

mm Milímetros

V Voltios

min Minutos

m W Mili watts

Hz Hertzios

mL Mililitro

ms Milisegundo

## Índice de figuras

Figura 1. 1 Piscinas recreativas siendo utilizadas por varios usuarios .....	2
Figura 1. 2 Persona con problemas estomacales .....	3
Figura 1. 3 Niño presentando sarpullido en su piel .....	4
Figura 1. 4 Infección aguda en el oído .....	4
Figura 1. 5 Niño con infección respiratoria .....	5
Figura 1. 6 Persona con malestar en el ojo .....	5
Figura 1. 7 Persona presentando alergias en la piel .....	6
Figura 1. 8 Kit de testeo manual de piscinas de cloro y pH .....	7
Figura 1. 9 Piscina con presencia de algas .....	8
Figura 1. 10 Aparición de corrosión en escaleras de una piscina .....	9
Figura 1. 11 Tecnologías de la industria 4.0 .....	11
Figura 1. 12 Placa Arduino UNO R3 .....	12
Figura 1. 13 Diagrama básico de los componentes de una piscina recreativa .....	13
Figura 1. 14 Conexión en paralelo del calentador .....	14
Figura 1. 15 Skimmer de una piscina.....	16
Figura 1. 16 Módulo de control del sistema ChloroMatic Lifeguard .....	18
Figura 1. 17 Sistema de monitoreo y control Intellichem .....	19
Figura 2. 1 Proceso de diseño de la solución .....	26
Figura 2. 2 Diseño conceptual .....	27
Figura 2. 3 Sistema de calefacción de la piscina .....	28
Figura 2. 4 Comportamiento lineal de las señales PWM.....	37
Figura 2. 5 Sistema con comportamiento sigmoidal .....	38
Figura 2. 6 Diagrama de alimentación del sistema .....	41
Figura 2. 7 Circuito reductor de voltaje .....	42



Figura 2. 8 Diagrama de conexiones de la placa Arduino Nano .....	43
Figura 2. 9 Conexión para comunicación serial.....	44
Figura 2. 10 Sistema de control de actuadores .....	45
Figura 2. 11 Creación de base de datos.....	46
Figura 2. 12 Pantalla de inicio de la aplicación móvil.....	47
Figura 3. 1 Carcasa protectora .....	50
Figura 3. 2 Regleta de enchufes.....	51
Figura 3. 3 Módulo adaptador para los sensores.....	51
Figura 3. 4 Cuarto de máquina de la piscina.....	53
Figura 3. 5 Conexión entre bombas peristálticas y reservorio de químicos .....	54
Figura 3. 6 Conexión entre dispositivo y módulo de acople.....	54
Figura 3. 7 Ubicación del sensor de nivel en el Skimmer .....	55
Figura 3. 8 Esquema eléctrico del sistema.....	57
Figura 3. 9 PCB del sistema eléctrico .....	58
Figura 3. 10 Prototipo de la unidad central.....	59
Figura 3. 11 Valores medidos en tiempo real .....	61
Figura 3. 12 Valores de control establecidos por el usuario .....	62
Figura 3. 13 Registro de datos medidos a través del tiempo .....	62
Figura 3. 14 Representación gráfica de las últimas 10 mediciones tomadas.....	63
Figura 3. 15 Registro histórico de los valores medidos .....	64
Figura 3. 16 Representación gráfica de control de temperatura On-Off.....	65
Figura 3. 17 Señal PWM según el método proporcional .....	66
Figura 3. 18 Elevación de los valores de pH .....	67
Figura 3. 19 Comportamiento del sistema al utilizar elevador de pH .....	68
Figura 3. 20 Comportamiento del sistema al utilizar cloro líquido .....	68

## Índice de tablas

Tabla 2. 1	Requerimientos de diseño .....	22
Tabla 2. 2	Criterios de selección.....	24
Tabla 2. 3	Matriz de decisión.....	25
Tabla 2. 4	Características técnicas de sonda de temperatura .....	30
Tabla 2. 5	Características técnicas del adaptador BNC .....	31
Tabla 2. 6	Características técnicas del sensor de pH .....	31
Tabla 2. 7	Características del módulo BNC del sensor ORP.....	32
Tabla 2. 8	Características técnicas del sensor ORP .....	32
Tabla 2. 9	Características técnicas de la placa transmisora de señal .....	33
Tabla 2. 10	Características técnicas del sensor TDS .....	33
Tabla 2. 11	Características técnicas del módulo de acondicionamiento.....	34
Tabla 2. 12	Características técnicas del sensor de líquidos .....	34
Tabla 2. 13	Características técnicas de la bomba peristáltica .....	35
Tabla 2. 14	Características técnicas del módulo relé.....	36
Tabla 2. 15	Características técnicas de la placa Arduino Nano.....	39
Tabla 2. 16	Características técnicas de la placa ESP32 .....	40
Tabla 2. 17	Características técnicas del controlador L298N .....	40
Tabla 3. 1	Consumo eléctrico del sistema .....	60
Tabla 3. 2	Parámetros PID para el control de pH y ORP .....	69
Tabla 3. 3	Gastos de componentes electrónicos .....	70
Tabla 3. 4	Gastos en los materiales de construcción .....	71
Tabla 3. 5	Gastos adicionales.....	72

## **Índice de planos**

PLANO 1 Sistema de monitoreo y control de la calidad de agua (partes)

PLANO 2 Tapa de la carcasa

PLANO 3 Carcasa protectora

PLANO 4 Regleta para el encendido de actuadores

PLANO 5 Modulo de acople para los sensores

# **Capítulo 1**

## 1.1 Introducción

El uso de una piscina recreativa es una actividad realizada diariamente por distintas personas alrededor del mundo, por lo cual es necesario mantener un estricto control de calidad en el agua de las piscinas. Esto tiene efectos directos en los usuarios de la piscina, ya que afectan en su salud y bienestar [1].

**Figura 1. 1**

*Piscinas recreativas siendo utilizadas por varios usuarios [2]*



Entre los años 2015 y 2019 se reportaron más de 3600 casos de enfermedades por bañarse en agua incorrectamente desinfectada, las cuales fueron transmitidas por sitios con recreación acuática en Estados Unidos. También existieron 286 hospitalizaciones y 13 muertes registradas [3].

En un centro de educativo de Guayaquil, hace más de 25 años atrás se detectaron enfermedades en algunos estudiantes, por lo cual con investigaciones se logró determinar que

el medio de contagio fue la piscina del colegio. Tanto como el médico Juan Gonzáles Fernández, director del Instituto Provincial de Salud del Colegio de médicos del Guayas, como, la especialista en Medicina Interna del Centro Médico Medilink, Patricia López Ruiz, mencionaron que entre los tipos de enfermedades más frecuentes que se pueden adquirir en una piscina están las intestinales, ginecológicas y afecciones a los ojos, oídos y piel [4].

Algunos de los efectos adversos que se han detectado por tener una incorrecta limpieza del agua, exceso de cloro u otros químicos, son [5]:

- Diarrea

**Figura 1. 2**

*Persona con problemas estomacales [6]*



- Sarpullidos en la piel

**Figura 1. 3**

*Niño presentando sarpullido en su piel [7]*



- Dolor de oído

**Figura 1. 4**

*Infección aguda en el oído [8]*



- Tos o congestión

**Figura 1. 5**

*Niño con infección respiratoria [9]*



- Dolor e infección en los ojos

**Figura 1. 6**

*Persona con malestar en el ojo [10]*





- Alergias en la piel

**Figura 1. 7**

*Persona presentando alergias en la piel [11]*



Para aquellas personas que tengan un sistema inmunitario muy débil, contraer una de estas enfermedades u otras más graves como *Cryptosporidium*, puede llegar a ser mortal.

El uso de cloro en los procesos de desinfección es indispensable, pero un suministro incorrecto acarrea consecuencias. El Ministerio de Sanidad de España ha realizado advertencias sobre el nivel excesivo de cloro o sus derivados, indicando así que estos pueden provocar irritaciones en los ojos y hasta algunos problemas respiratorios. Los niños son los más vulnerables a contraer estos tipos de problemas respiratorios, incluso muchos de ellos han llegado a desarrollar problemas asmáticos y ataques de tos [12].

El tratar las piscinas recreativas con algunos químicos en exceso con el fin de lograr una correcta desinfección puede provocar también sequedad en la piel a largo plazo, puesto que usualmente el pH de estos químicos es mayor al de la piel.

Usualmente, el control de calidad de las piscinas se realiza manualmente, ya que se utilizan distintos instrumentos para la medición de algunos parámetros como: temperatura, pH, cloro, nivel del agua y sólidos disueltos.

**Figura 1. 8**

*Kit de testeo manual de piscinas de cloro y pH [13]*



El desarrollo de nuevas tecnologías y su facilidad de conexión a redes de internet brindan una opción innovadora para la automatización de ciertos parámetros en las piscinas recreativas [14]. Esto posee un mayor impacto en zonas calurosas, donde el uso de recursos hídricos como medio de entretenimiento es común.

Por los motivos previamente expuestos se requiere diseñar un sistema que sea capaz de monitorear temperatura, pH, cloro, nivel de agua y sólidos disueltos en una piscina recreativa. Además, llevar el control de temperatura, nivel de agua, saneamiento y control de nivel de pH.

## 1.2 Descripción de la problemática

El control periódico y preciso del estado de la piscina depende de la disponibilidad de tiempo, dinero y compromiso de los usuarios, así como poseer la capacidad de medir adecuadamente los parámetros de estudio del agua, y, en consecuencia, suministrar las cantidades necesarias de químicos a la piscina [15].

Por consiguiente, un mantenimiento inadecuado de la calidad de agua genera problemáticas a largo plazo que afectan a la salud de las personas o contribuye a daños estructurales de la piscina debido a la proliferación de microorganismos, bacterias y algas [16].

### Figura 1. 9

*Piscina con presencia de algas [17]*



De igual forma, un desbalance químico genera acidez o alcalinidad en el agua, lo que provoca daños en el revestimiento de la piscina, o corrosión en elementos metálicos como lo pueden ser escaleras o la bomba de agua [18]. De ahí la necesidad de diseñar un equipo de monitoreo y control en tiempo real que permita minimizar estos riesgos, manteniendo el agua en óptimas condiciones a la vez que se limita la intervención humana.

**Figura 1. 10**

*Aparición de corrosión en escaleras de una piscina [19]*



### **1.3 Justificación del problema**

La siguiente investigación y solución propuesta, nace de la necesidad de brindar un ambiente saludable, cómodo y seguro para los bañistas. Las propiedades químicas y físicas del agua de las piscinas recreativas son afectadas por múltiples factores que comprometen su nivel de calidad. La exposición al sol, aumento repentino de bañistas o presencia de lluvias alteran ciertas propiedades como el pH, contenido de cloro, alcalinidad y turbidez [20].

Un tratamiento inadecuado facilita la presencia de microorganismos patógenos. Esta problemática se magnifica en zonas calurosas y en épocas festivas, llegando a generar brotes de enfermedades gastrointestinales, otorrinolaringológicas, oftalmológicas y cutáneas [21].

La instalación de un sistema inteligente de monitoreo y control reduce los costos de mantenimiento del cliente a largo plazo, permitiendo extender el tiempo de vida del agua de la piscina, además de limitar la necesidad de contratar servicios de mantenimiento. Adicionalmente, mejora la experiencia de usuario al delegar las funciones de control más difíciles al sistema, reduciendo las intervenciones por parte del dueño de la piscina. [22]

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema mecatrónico de monitoreo y control de parámetros físicos y químicos, empleando sensores digitales, actuadores y un microcontrolador, para el mantenimiento de una buena calidad de agua en piscinas recreativas.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Desarrollar un sistema de adquisición de datos mediante el uso de sensores de temperatura, pH, potencial de reducción de la oxidación, nivel de agua y sólidos disueltos.
2. Diseñar un sistema para el control de pH, saneamiento, temperatura y nivel de agua de la piscina.
3. Establecer una base de datos en la nube para el almacenamiento de los datos adquiridos por los sensores, con el fin de presentárselo al usuario por medio de una aplicación móvil.

## **1.5 Marco teórico**

### **1.5.1 Internet de las cosas (IoT)**

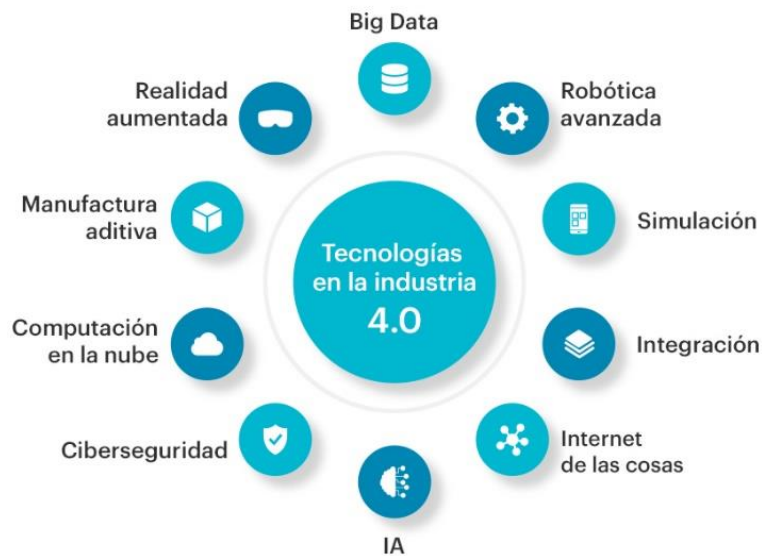
Es una de las ramas tecnológicas desarrolladas en la cuarta revolución industrial. Su concepto hace referencia a los procesos de interconexión por red de múltiples dispositivos, tal que estos puedan intercambiar información entre sí, dotándoles de cierto nivel de inteligencia [23].

Esta arquitectura de comunicación utiliza sensores, actuadores y servicios de conectividad de red con el propósito de generar una autonomía que permita reducir las

intervenciones por parte del usuario. El manejo de la información permite una toma de decisiones y solución de problemas más eficientes en tiempo real [24]. En la **Figura 1.11** se observan otras ramas presentes en la cuarta revolución industrial.

**Figura 1. 11**

*Tecnologías de la industria 4.0 [25]*



### 1.5.2 Placas de desarrollo programables

Son dispositivos compuestos por circuitos integrados y un microcontrolador programable. Su uso ha crecido a lo largo del tiempo, representando una opción accesible para el desarrollo y comercialización de productos, contando con multitud de opciones en el mercado [26].

Una de las alternativas más populares corresponde a las placas desarrolladas por la compañía Arduino, puesto que poseen un precio bajo en el mercado, un IDE de código abierto y variedad de librerías y documentación. Uno de sus modelos más populares es la placa Arduino UNO R3, que se observa en la **Figura 1.12**, aunque existe un inmenso mercado competitivo con variedad de opciones. [27].

**Figura 1. 12**

Placa Arduino UNO R3 [28]



### 1.5.3 Comunicación entre dispositivo y la nube

En este tipo de modelo de comunicación, los dispositivos físicos (sensores y actuadores) se conectan a servicios en la nube, capaces de almacenar e intercambiar datos por medio de conexiones Wifi o cableado *Ethernet*. Esto brinda una ventaja intrínseca al sistema IoT, donde el usuario accede a un registro de los datos recopilados, agregando un valor adicional más allá de las funciones originales del dispositivo [29]. La comunicación bidireccional es de suma importancia, puesto que amplía las funcionalidades del sistema, permitiendo un control remoto del mismo basándose en los datos contenidos en la nube [30].

### 1.5.4 Servicio de base de datos Realtime Database

Corresponde a una base de datos en la nube proporcionada por Firebase que permite el almacenamiento y sincronización en tiempo real de datos en formato JSON. Se integra a aplicaciones web y móviles, con compatibilidad en múltiples plataformas (Android, iOS, JavaScript, Java etc) [31]. Posee una gran facilidad de uso debido a que proporciona una



variedad de bibliotecas y SDKs que agilizan su integración en diversos proyectos, así como la sincronización en tiempo real. Adicionalmente, permite un almacenamiento a nivel local en caso de que se pierda la comunicación con la red, pudiendo sincronizar la base de datos con la información guardada una vez se restablezca la conexión [32].

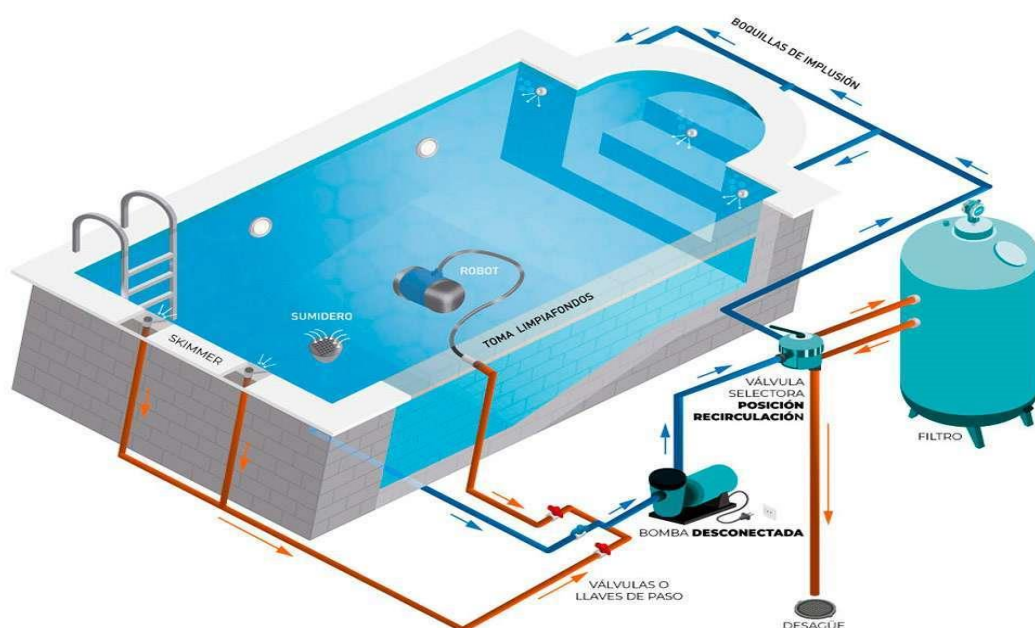
### 1.5.5 Elementos y funcionamiento básico de una piscina

Una piscina está compuesta de múltiples elementos indispensables para garantizar su correcto funcionamiento y mantenimiento de agua, permitiendo su recorrido cíclico a través de las tuberías. Esto se pueden observar en la **Figura 1.13** [33].

Una bomba succiona el agua desde la parte superficial y fondo de la piscina a través de *skimmers*, limpia fondos y un sumidero, pasándola a través de un filtro que remueve impurezas y suciedad. Posteriormente, se devuelve el agua a la piscina, repitiendo el ciclo, mientras que los desechos retirados por el filtro van a un desagüe [34].

**Figura 1. 13**

*Diagrama básico de los componentes de una piscina recreativa.*

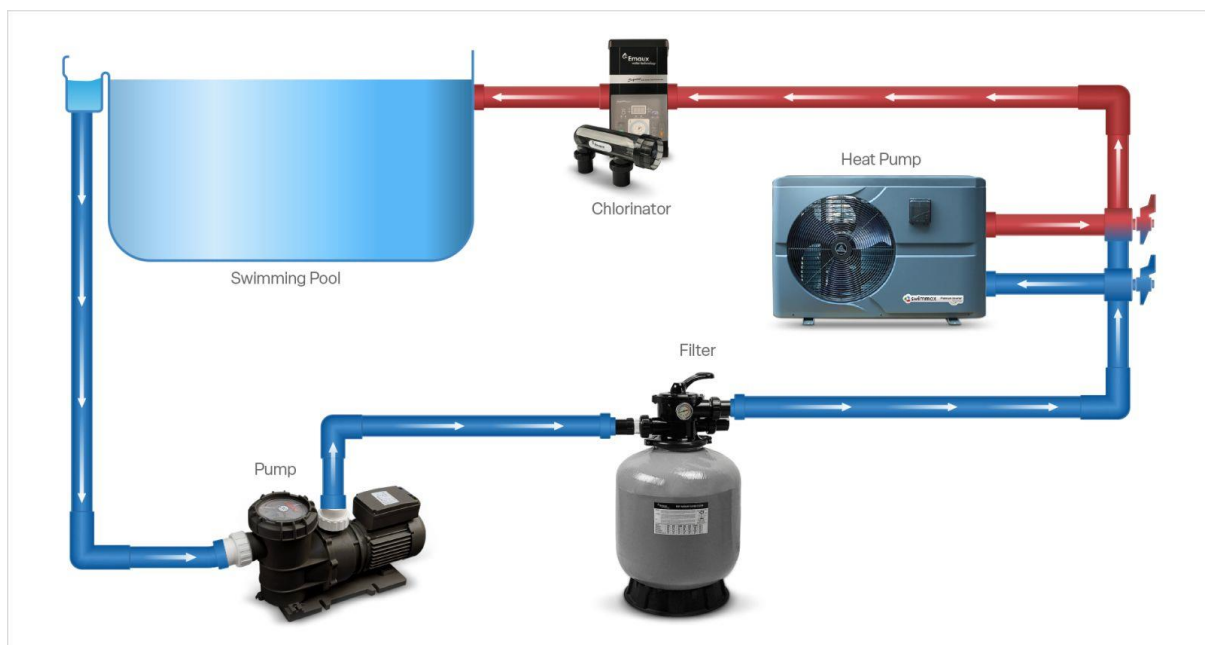




Adicionalmente, se puede integrar partes complementarias a la piscina para mejorar la experiencia del usuario. Una de estas son los calentadores, para aumentar la temperatura del agua, los cuales pueden ser eléctricos, solares o alimentados por gas. Son de gran utilidad para alargar el tiempo de uso en zonas donde la temperatura es baja [35]. Su instalación es simple, ya que solo es necesario realizar una conexión en paralelo al sistema de tuberías, como se puede observar en la **Figura 1.14** [36].

**Figura 1. 14**

*Conexión en paralelo del calentador*



## 1.5.6 Parámetros físico-químicos de la calidad de agua de las piscinas

### 1.5.6.1 Parámetros físicos

**Temperatura:** Corresponde a un parámetro fundamental para la comodidad de los usuarios. Al mantener un control apropiado de la temperatura deseada se garantiza la satisfacción de los bañistas, sobre todo en zonas con temperaturas bajas. Su control se realiza mediante el uso de calentadores que, dependiendo del tipo, posee altos costos de adquisición,

variando entre los rangos de 500 a 7500 dólares, sin contar los gastos de instalación, cuyo valor promedio es de 3500 dólares [37].

En caso de que la piscina sea destinada con fines deportivos, su control adquiere una mayor importancia, debido a la necesidad de eliminar cualquier factor externo que influya en el rendimiento de los atletas [38].

**Sólidos disueltos:** Este parámetro brinda información sobre los contenidos de partículas en el agua como sedimentos, sales y materia orgánica. Es un factor a considerar para mantener un buen aspecto visual, además de evitar corrosión y bloqueo de la efectividad del cloro, generando un posible crecimiento bacteriano. Dentro de una piscina es aconsejable tener valores menores a 1000 ppm [39].

**Nivel de agua:** Se ve fuertemente influenciado por las condiciones ambientales a la que está sometida la piscina. Una exposición constante a altas temperaturas provoca una disminución en el nivel debido a los procesos de evaporación. Esto facilita la entrada de aire al sistema de tuberías y daños al motor de la bomba de agua.

Si el nivel de agua es muy alto, los elementos de filtrado no podrán eliminar los residuos en la parte superficial, empeorando la calidad de la misma. Debido a esto, es recomendable mantener un nivel de agua que cubra cerca de un tercio de los *skimmers* de la piscina [40], tal como se llega a observar en la **Figura 1.15** [41].

**Figura 1. 15***Skimmer de una piscina*

#### 1.5.6.2 Parámetros químicos

**pH:** Es una medida de la acidez del agua de una piscina, tomando como referencia una escala de entre 0 y 14. El valor óptimo para mantener una calidad aceptable está entre 7.2 y 7.8, una mala regulación de este parámetro puede traer consecuencias tanto a la salud de las personas como a la estructura de la piscina. La presencia de valores por debajo de 7.0 representa un nivel de acidez elevado en el agua, generando irritación en ojos, nariz y piel de las personas, además de problemas de corrosión en la bomba de agua. Por el contrario, niveles elevados del pH (superior a 8.0) indica alcalinidad en el agua, lo que mitigan los efectos del cloro disuelto, contribuyendo a la turbidez y proliferación de microorganismos [42].

**Potencial de oxidación:** Es una medición de la capacidad que tiene el agua de la piscina para oxidarse con materia orgánica presente y elementos contaminantes indeseados. Detecta la actividad de electrones en el agua, por lo que las magnitudes de sus lecturas son los milivoltios.

Se relaciona con la capacidad del cloro de funcionar como un agente oxidante, dando una idea general del nivel de saneamiento del agua, aunque se ve influenciada por factores

adicionales como la temperatura, pH y oxígeno disuelto en el agua. Para mantener una buena calidad de agua en una piscina recreativa se necesita tener un rango de medición de entre 700 mV a 750 mV [43].

## 1.6 Estado del arte

En la actualidad existen empresas que ofrecen sistemas de monitoreo y control químico destinados a piscinas de uso recreativo o industrial, aunque solo se pueden adquirir mediante el contacto con un proveedor autorizado. Entre estos equipos se encuentran:

### **ChloroMatic Lifeguard**

Es un producto de monitoreo y control químico desarrollado por la empresa australiana Davey. Posee sensores para medir el nivel de pH, temperatura, contenido de sales y potencias de oxidación. Su empleo es adecuado para piscinas de hasta 175 000 litros, y pueden integrarse a aquellas que utilizan un clorador salino. [44].

Emplea una bomba peristáltica como método para realizar el proceso de control de pH, conectando un extremo de la bomba al sistema de tuberías de la piscina, y otro extremo a un reservorio químico. Tiene integrado una interface LCD donde se puede seleccionar 3 modos de uso (*Boost mode*, *Spa mode* y *Cover mode*) para el dispositivo, además de desplegar los últimos valores captados por los sensores [45].

**Figura 1. 16**

*Módulo de control del sistema ChloroMatic Lifeguard [44]*



## **Intellichem**

Es un equipo de monitoreo y control desarrollado por la empresa estadounidense Pentair. Se encarga del monitoreo en tiempo real de los parámetros de pH, temperatura, ORP y partículas por millón en el agua. Dentro de este dispositivo se puede especificar la fecha en la que se realice el suministro de productos químicos para así mantener la calidad de agua. Para esta acción utiliza dos bombas peristálticas, encargadas de depositar cloro y reguladores de pH en la piscina. Posee un sensor de flujo de agua que garantiza que la alimentación química se efectúe cuando la bomba de agua de la piscina esté en funcionamiento, evitando así que los químicos se queden asentados en la tubería [46].

Tiene la capacidad de conectarse con la aplicación móvil ScreenLogic Connect, brindándole un acceso remoto al usuario. [47].

**Figura 1. 17**

*Sistema de monitoreo y control Intellichem [46]*



## **Capítulo 2**

## **2 Metodología**

En el siguiente capítulo se explica la metodología para la obtención de una solución capaz de cumplir con los objetivos establecidos. Se especifica los requerimientos planteados por el cliente, la elección de los sensores, actuadores y las placas de desarrollo programables. Adicionalmente, se detalla el diseño de una carcasa protectora para los componentes eléctricos, la elección de los servicios de base de datos y la creación de una interfaz de usuario en una aplicación móvil para la visualización de los datos medidos.

### **2.1 Requerimientos de diseño**

Los requerimientos de diseño brindados por el cliente representaron la base para la creación de la solución. Estos se visualizan en la **Tabla 2.1**.



**Tabla 2. 1***Requerimientos de diseño*

<b>Principales requerimientos de diseño</b>	<b>Descripción</b>
Mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe contar con un diseño hermético que evite el ingreso de líquidos en el circuito eléctrico.</li> <li>• Debe garantizar que los bañistas no puedan tener contacto con ninguna parte del sistema.</li> </ul>
Electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínima exposición de los componentes electrónicos y cables al ambiente.</li> <li>• Es necesario una fuente de alimentación capaz de suministrar energía constantemente.</li> </ul>
Informáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario contar con un registro de los datos captados por los sensores.</li> <li>• Tener una interfaz que permita al usuario visualizar el estado de la piscina en tiempo real.</li> </ul>
De control	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los parámetros a monitorear corresponden a la temperatura, pH, sólidos disueltos, ORP y nivel de agua</li> <li>• El control de los parámetros de pH y ORP se dan en el transcurso de varias horas,</li> <li>• El control del nivel de agua y temperatura se realiza con un control <i>On-Off</i></li> </ul>

## 2.2 Selección de alternativas de solución

Tomando en cuenta los aspectos de la problemática presentados en el capítulo uno y las consideraciones de diseño brindadas en la **Tabla 2.1**, se presentaron dos posibles soluciones.

### **Alternativa 1**

Diseño de dos dispositivos interconectados por dos módulos Wifi. El primero corresponde a un instrumento flotador con sensores sumergidos dentro de la piscina. Posteriormente, este elemento envía los valores obtenidos a la base de datos y a una unidad de control que regula los parámetros de la piscina en base a las lecturas recibidas.

### **Alternativa 2**

Diseño de una unidad central conformada por una placa programable y un módulo Wifi, ubicada en el cuarto de máquinas de la piscina, responsable del control de sensores, actuadores y del envío de información a la base de datos. Los sensores están conectados al sistema de tuberías.

Las alternativas propuestas fueron evaluadas y comparadas según los criterios de diseño mostrados a continuación.

- **Costo de fabricación:** Costo relacionado con la adquisición de componentes electrónicos, sensores, actuadores, fabricación de la carcasa protectora e instalación en la piscina.
- **Facilidad de instalación:** Accesibilidad y sencillez para instalar y configurar el sistema en la piscina.
- **Costos de mantenimiento:** Dinero y tiempo invertido, tal que se pueda solucionar algún problema presentado en el sistema. Incluye la facilidad de obtención de repuestos como sensores o actuadores.
- **Alimentación de energía:** Fuente energética necesaria para mantener el sistema funcionando por largos periodos de tiempo.
- **Durabilidad:** Tiempo aproximado que se garantice que el sistema se mantenga trabajando en óptimas condiciones.

La **Tabla 2.2** enumera la ponderación de cada criterio según su importancia para la solución.

**Tabla 2. 2**

*Criterios utilizados para la selección de la solución*

<b>Criterio</b>	<b>Importancia</b>	<b>Peso relativo</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Durabilidad	1	4	35
Costo de fabricación	2	3	26
Costos de mantenimiento	3	2	17
Facilidad de instalación	4	1.5	13
Alimentación de energía	5	1	9
<b>Peso total</b>		11.5	100

Considerando los criterios presentados, se compararon las alternativas propuestas para determinar cuál es la solución más viable. En base a los resultados brindados por la **Tabla 2.3**, se concluyó que la opción dos era la mejor solución para la problemática presentada.

**Tabla 2. 3***Matriz de decisión*

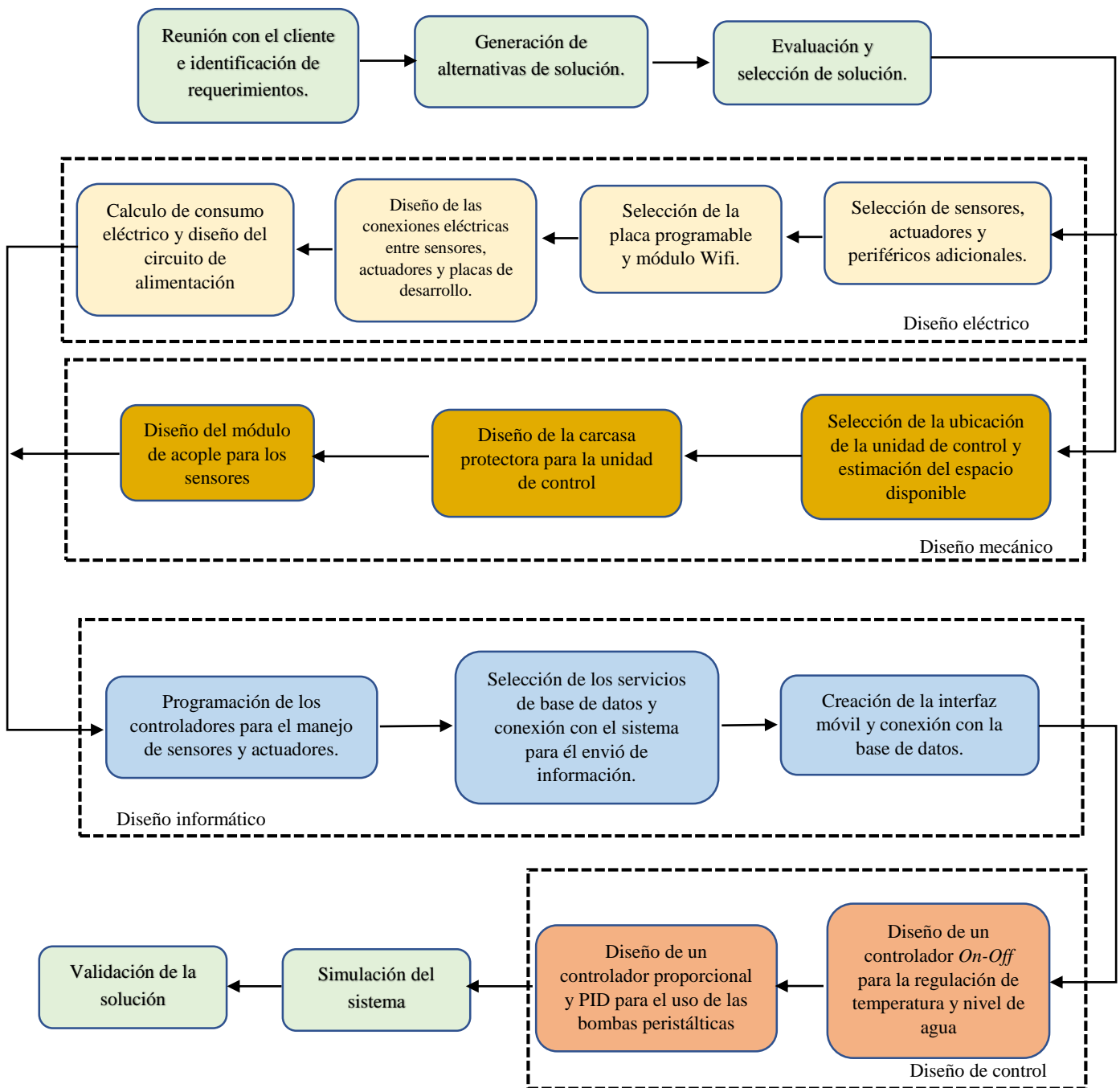
<b>Criterio</b>	<b>Durabilidad</b>	<b>Costo de fabricación</b>	<b>Costos de mantenimiento</b>	<b>Facilidad de instalación</b>	<b>Alimentación de energía</b>	<b>Total</b>
<b>Peso</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>1</b>	<b>11.5</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>35%</b>	<b>26%</b>	<b>17%</b>	<b>13%</b>	<b>9%</b>	<b>100%</b>
Alternativa 1	6	4	9	8	5	6.2
Alternativa 2	8	7	7	7	9	7.5

### **2.3 Proceso de diseño**

En la **Figura 2.1** se muestra las distintas etapas para la obtención del resultado final.

Figura 2. 1

Proceso de diseño de la solución



## 2.4 Diseño conceptual

El prototipo de la solución propuesta se basó en las consideraciones brindadas por el cliente. Se necesitó un sistema alejado de la zona donde estén los bañistas, para así evitar que estos tengan acceso al controlador y los sensores.

Fue prioritario tener acceso al agua de la piscina, para hacer la toma de datos de los parámetros, a la vez de tener en proximidad los mecanismos de control para establecer la temperatura de la piscina, nivel de agua y dosificación de químicos.

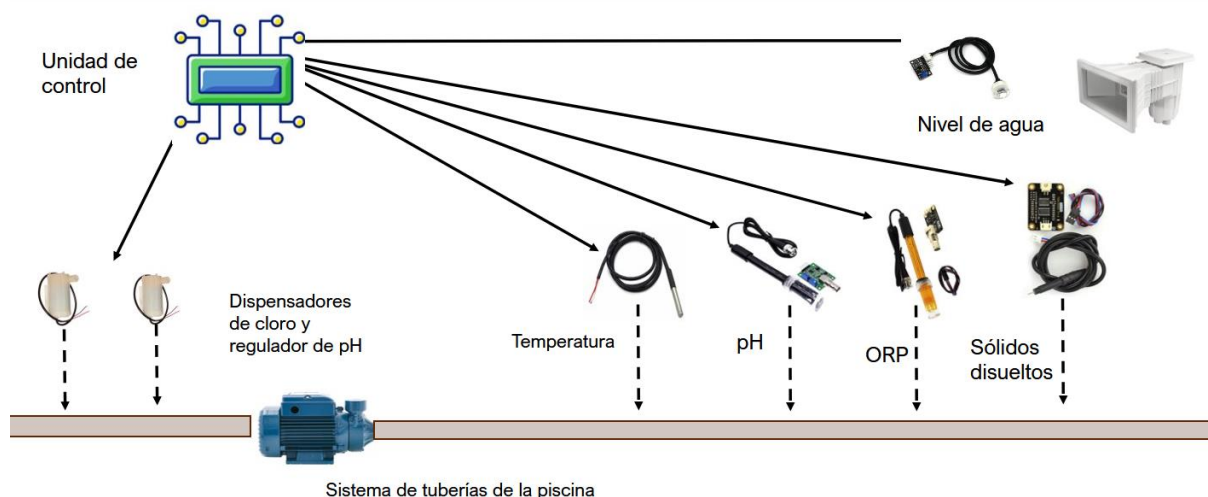
La **Figura 2.2** muestra el diseño conceptual de la solución. Se tiene una unidad central, encargada del control de sensores, actuadores y del envío de datos a la nube. Se observa los sensores a usar, que estarán sujetos al sistema de tuberías de la piscina, obteniendo la información cuando la bomba de agua esté en funcionamiento.

El sensor de nivel de agua está ubicado en uno de los filtros de la piscina, de tal manera que se evite el contacto del sensor con alguno de los bañistas.

Como actuadores se emplearon dos bombas dosificadoras encargadas de suministrar los productos químicos (cloro y regulador de pH) a la piscina y una válvula solenoide para el llenado automático de agua.

**Figura 2. 2**

*Diseño conceptual de la solución propuesta*

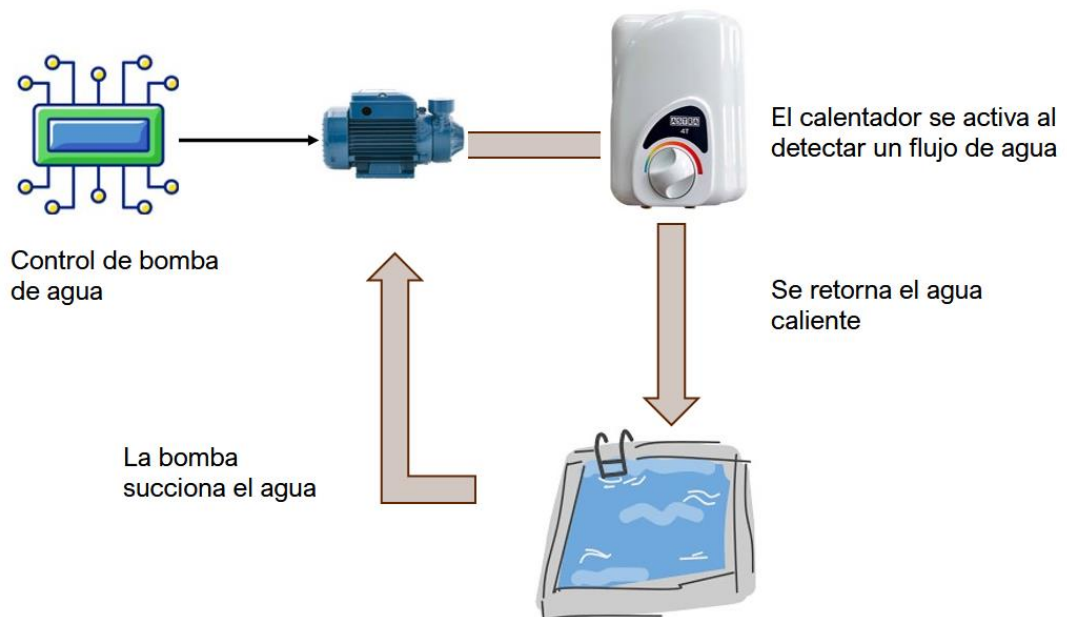


De igual forma, se contó con un calentador a gas para el control de temperatura. El calentador se activa automáticamente cuando detecta un flujo de agua por parte de una bomba

secundaria, por lo que el control de temperatura está directamente relacionado con el encendido y apagado de este elemento. La **Figura 2.3** muestra el diagrama de funcionamiento de esta sección de la piscina.

**Figura 2. 3**

*Sistema de calefacción de la piscina*



## 2.5 Parámetros de diseño electrónico

Se conectó los sensores con una placa programable. Esta sirvió como un intermediario para captar y procesar los datos de los parámetros del agua de la piscina.

Posteriormente, se mandó los datos por comunicación serial al módulo Wifi. Este cumplió con la función de enviar las mediciones hechas a una base de datos, además de ser la parte encargada de comunicarse con los diversos actuadores para realizar el control de la piscina.

### 2.5.1 Selección de sensores

En el trabajo realizado, fue necesario el uso de un total de cinco sensores capaces de captar los parámetros más importantes para garantizar una buena calidad de agua. Las consideraciones tomadas al momento de la selección de todos los sensores fueron similares, resumiéndose en:

- Precio accesible.
- Tamaño reducido.
- Sensibilidad.
- Temperatura de operación.


El **Apéndice H** presenta las diversas opciones disponibles con sus características técnicas.

#### 2.5.1.1 Sensor de temperatura DS18B20

Se llegó a la conclusión de que la mejor opción es el sensor DS18B20, al tener una buena precisión sin un aumento considerable en su precio. La **Tabla 2.4** muestra las características técnicas de este sensor.



**Tabla 2. 4***Características técnicas de sonda de temperatura*

<b>Figura</b>	<b>Característica</b>
	Interfaz de comunicación: 1-Wire
	Tipo de señal: Salida digital
	Voltaje de alimentación: 3.5V-5 V
	Corriente de consumo: 1 mA-1.5 mA
	Temperatura de funcionamiento: -55°C a +125°C
	Precisión: 0.5°C entre el rango de -10°C a +85°C
	Dimensiones: 7 mm $\varnothing$ $\times$ 26 mm de largo
	Potencia máxima de consumo: 5 m W


### 2.5.1.2 Sensor de pH

Las consideraciones tomadas para la adquisición de este sensor fueron la disponibilidad en el mercado y su precio, además de su capacidad para trabajar en los rangos de temperatura posibles dentro de la piscina.

La mejor alternativa es el sensor de la marca GaoHou, debido a su precio y compatibilidad con las placas programables desarrolladas por Arduino. Este modelo necesita de una interfaz BNC como medio intermediario para el acondicionamiento de señal y para él envío de las lecturas hechas a la placa de desarrollo.


La **Tabla 2.5** muestra las características técnicas del módulo BNC.

**Tabla 2. 5***Características técnicas del adaptador BNC*

Figura	Característica
	Tipo de señal: Salida analógica
	Voltaje de alimentación: 5V ± 0.2 V
	Corriente de consumo: 5 mA-10mA
	Voltaje de salida: 0 - 4V
	Dimensiones: 42mm × 32mm × 20mm
	Potencia máxima de consumo: 500 mW

La **Tabla 2.6** muestra las características técnicas del sensor de pH.

**Tabla 2. 6***Características técnicas del sensor de pH*

Figura	Característica
	Voltaje de alimentación: 3.3V/5V
	Rango de medición: 0-14 pH
	Tipo de conexión: Terminal BNC
	Temperatura de funcionamiento: 0-80°C
	Tiempo de respuesta: ≤ 1min
	Dimensiones: 13 mm ø × 120 mm


### 2.5.1.3 Sensor ORP

La probeta de la marca Grove fue la opción más económica y fácil de adquirir en el mercado. Al igual que el sensor pH antes mencionado, este sensor requiere de una interfaz BNC para el envío correcto de datos al controlador.

La **Tabla 2.7** y **2.8** muestra las características técnicas del módulo BNC y del sensor.


**Tabla 2.7**

*Características del módulo BNC del sensor ORP*

Figura	Característica
	Tipo de señal: Salida analógica
	Voltaje de alimentación: 3.3V-5V
	Corriente de consumo: 5 mA-10mA
	Dimensiones: 40mm × 27mm × 20mm
	Potencia máxima de consumo: 50 mW

**Tabla 2.8**

*Características técnicas del sensor ORP*

Figura	Característica
	Voltaje de alimentación: 3.3V-5V
	Tipo de conexión: Terminal BNC
	Temperatura de funcionamiento: 5°C - 70°C
	Tiempo de respuesta: ≤ 20sec
	Dimensiones: 13 mm $\varnothing$ × 120 mm de largo
Rango de medición: -2000mV~2000mV	


### 2.5.1.4 Sensor TDS

El sensor escogido pertenece a la marca CQRobot, y fue seleccionado por su facilidad de adquisición.

La **Tabla 2.9** muestra las características técnicas de la placa transmisora de señal.

**Tabla 2. 9**


*Características técnicas de la placa transmisora de señal*

Figura	Característica
	Tipo de señal: Salida analógica
	Voltaje de alimentación: 3.3V-5V
	Corriente de consumo: 3mA - 6mA
	Voltaje de salida: 0 - 2.3V
	Dimensiones: 43mm x 32.2mm
	Potencia máxima de consumo: 30 mW

La **Tabla 2.10** muestra las características técnicas del sensor.

**Tabla 2. 10**

*Características técnicas del sensor TDS*

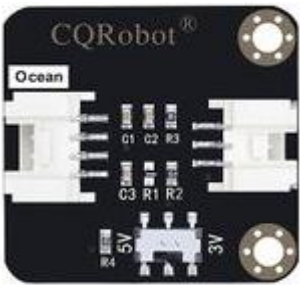
Figura	Característica
	Voltaje de alimentación: 3.3V-5V
	Precisión: $\leq 10\%$
	Dimensiones: 7 mm de $\varnothing$ x 30 mm
	Rango de medición: 0ppm- 1000 ppm

### 2.5.1.5 Sensor de nivel de agua

El sensor de la marca CQRobot fue el más apropiado, debido a su bajo costo, facilidad de instalación y diseño que previene el ingreso de agua al circuito. Las características técnicas se observan en la **Tabla 2.11** y en la **Tabla 2.12**


**Tabla 2. 11**

*Características técnicas del módulo de acondicionamiento*

Figura	Característica
 <p>The image shows a black PCB module for the CQRobot Ocean sensor. It features a white connector on the left, a central sensor component, and another white connector on the right. Labels include 'CQRobot', 'Ocean', '5V', '3V', and various component identifiers like C1, C2, C3, R1, R2, R3, R4.</p>	Tipo de señal: Salida digital
	Voltaje de alimentación: 5V
	Corriente de salida: 12 mA
	Voltaje de salida: LOW(0V) y HIGH(3.3V o 5V)
	Dimensiones: 35mm x 36mm
Potencia máxima de consumo: 60 mW	

**Tabla 2. 12**

*Características técnicas del sensor de líquidos*

Figura	Característica
 <p>The image shows a liquid level sensor with a black cable and a white sensor head. A blue label with the CQRobot logo is attached to the cable.</p>	Voltaje de alimentación: 5V
	Temperatura de funcionamiento: -25°C - 105°C
	Dimensiones: 20 mm $\varnothing$ $\times$ 10 mm de largo
	Precisión de detección de nivel de líquido: $\pm$ 0,5 mm

## 2.5.2 Elección de actuadores

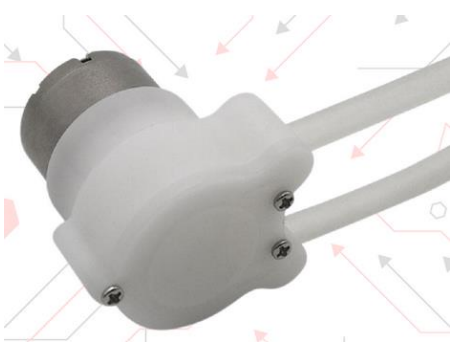
Los actuadores necesarios son dos bombas peristálticas para la dosificación de cloro líquido y regulador de pH, un módulo relé de tres canales para el encendido de la bomba de agua secundaria, responsable de la activación del calentador de agua, la válvula solenoide encargada del llenado de la piscina y la bomba de agua principal de la piscina.

### 2.5.2.1 Bombas peristálticas

Este elemento permite el desplazamiento de los químicos necesarios a la piscina. El **Apéndice E** denota el proceso de selección del actuador, donde se seleccionó la mini bomba peristáltica de 12 V por su funcionamiento similar a las demás opciones, pero a un costo de adquisición más bajo.

**Tabla 2. 13**

*Características técnicas de la bomba peristáltica*

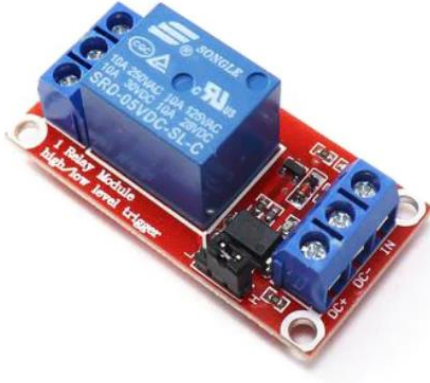
<b>Figura</b>	<b>Característica</b>
	Voltaje de alimentación: 12V
	Consumo de corriente: 250 mA
	Dimensiones: Diametro de 26.5 mm
	Caudal: 70 ml- 150 ml
	Altura máxima de elevación: 5 m
	Temperatura de trabajo: 0 – 40°C
	Potencia máxima de consumo: 3000 mW

### 2.5.2.2 Módulo relé

Este dispositivo electromagnético es responsable del control On-Off varios actuadores.

**Tabla 2. 14**

*Características técnicas del módulo relé*

Figura	Característica
	Voltaje de alimentación: 5V
	Voltaje de conmutación máximo: 220V
	Corriente normal: 70 mA
	Tipo de contacto: Normalmente abierto/Normalmente cerrado
	Número de canales: 1
	Conexión: Microcontrolador Arduino
	Dimensiones: 2,83 × 2,44 × 0,75 pulgadas
	Tiempo de funcionamiento: ≤ 10 ms
	Tiempo de liberación: ≤ 5 ms
	Potencia de consumo: 350 mW

### 2.5.3 Parámetro de control

En la solución propuesta se ponen a disposición del usuario algunos métodos de control con comportamientos diferentes.

#### **On-Off**

Consiste en un control simple que opera de forma binaria, donde se hizo uso de los relés para el encendido y apagado de actuadores como el calentador de agua, válvula solenoide y bombas peristálticas. Una vez se enciendan, estos no se volverán a apagar hasta que el parámetro de control llegue a su valor deseado.

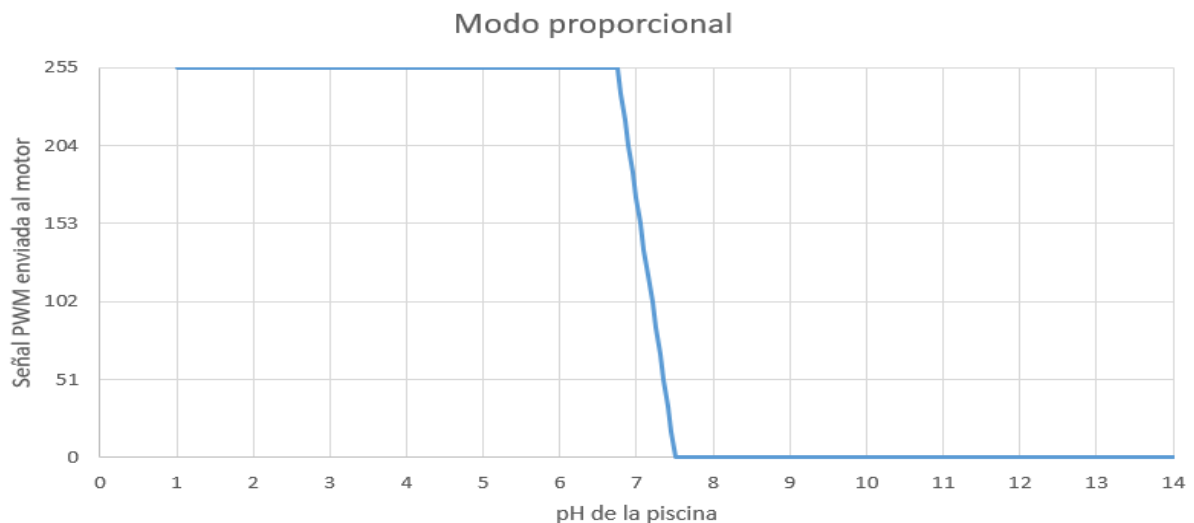
Este método será utilizado principalmente para el manejo de los valores de temperatura y nivel de agua. Se podrá seleccionar esta opción para el control de pH y ORP, aunque está a disposición del cliente.

### Método lineal

Una alternativa al método *On-Off*, donde la razón de dosificación dada por las bombas peristálticas disminuye de forma lineal conforme se acerca al punto de control deseado. Los motores operan a su capacidad total fuera de una zona de control proporcional, y una vez se entra el rango de control, disminuye su velocidad de forma lineal. El control de la velocidad se da por señales PWM de la placa ESP32, las cuales están entre los rangos de 0 y 255. La **Figura 2.4** denota el comportamiento de la señal enviada al motor.

**Figura 2. 4**

*Comportamiento lineal de las señales PWM*



*Nota.* La figura muestra el comportamiento de la señal PWM enviada a una bomba dosificadora cuando el valor de pH deseado es de 7.5, con una zona de control proporcional del 10%



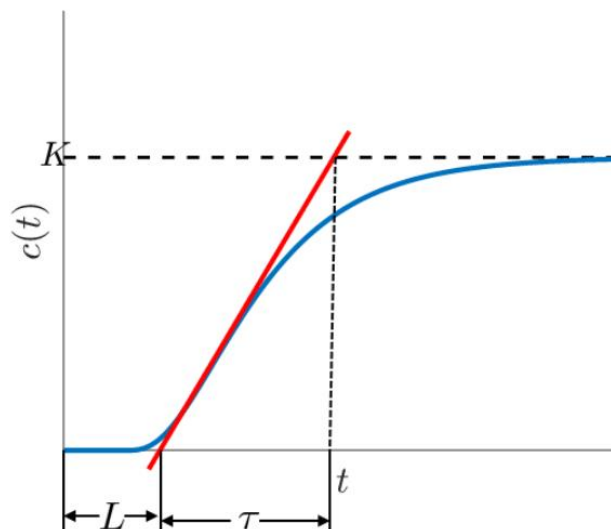
## PID

Es un método de control más sofisticado utilizado en el control de pH y ORP, ideal para evitar una sobrealimentación de químicos. Su uso es poco común entre otros dispositivos de control de piscina presentes en el mercado debido a la dificultad de determinar el comportamiento dinámico de una piscina, por lo que este trabajo solo se limita a detallar la forma de obtener este control para un caso de control en específico.

Para ello fue necesario encontrar de forma experimental el comportamiento del aumento de los valores de pH y ORP en el agua. Con una entrada escalón, correspondiente a las bombas peristálticas operando a máxima potencia, se obtuvo una respuesta del sistema de tipo sigmoideal tanto para los niveles de pH, como los niveles de ORP. La **Figura 2.5** muestra un ejemplo de un sistema con este tipo de comportamiento, además de los parámetros  $L$  y  $\tau$ , correspondientes al tiempo de retardo del sistema y la constante de tiempo.

**Figura 2. 5**

*Sistema con comportamiento sigmoideal [48]*



El **Apéndice D** muestra las fórmulas necesarias para la obtención, tanto de un controlador proporcional como PID, para este trabajo investigativo.

### 2.5.3.1 Selección de placas programables


En la selección del controlador encargado de recibir la información de los sensores, se consideró la disposición de pines suficientes para interpretar las señales analógicas y digitales, además de poseer un tamaño reducido.

En el caso del módulo Wifi, se consideró su capacidad de trabajar con señales PWM, además de su velocidad de procesamiento de datos. El **Apéndice F** muestra información más detallada que facilitó el proceso de selección de estos componentes en comparación a otras opciones en el mercado.


Las placas desarrolladas por Raspberry son incapaces de leer señales analógicas. Debido a esto y por su facilidad de adquisición y tamaño reducido, se seleccionó la placa Arduino Nano. En el caso del módulo Wifi, se eligió la placa ESP32, por su mayor capacidad de memoria y procesamiento. Las características técnicas se observan en la **Tabla 2.15** y en la **Tabla 2.16**

**Tabla 2. 15**

*Características técnicas de la placa Arduino Nano*


Figura	Característica
	Pines: 6 analógicos y 22 digitales
	Voltaje de operación: 5V - 12V
	Temperatura de funcionamiento: -40°C a 85°C
	Dimensiones: 18 mm × 45 mm
	Voltaje de salida: 3,3V y 5V
	Corriente de consumo: 19 mA solo el módulo, 20 mA por cada pin I/O usado.
	Potencia de consumo: 133 mW

**Tabla 2. 16***Características técnicas de la placa ESP32*

Figura	Característica
	Pines: 25 pines GPIO
	Voltaje de funcionamiento: 5V - 12V
	Temperatura de funcionamiento: -40°C - 125°C
	Dimensiones: 49 mm × 26 mm de largo
	Corriente de consumo: 80 mA- 260 mA
	Potencia de consumo: 396 mW

Las bombas funcionan en base al giro de un motor DC. Al desear un suministro controlado de químicos dentro de la piscina, es necesario poseer un control adecuado de la cantidad dosificada. El **Apéndice G** muestra las características de varias opciones disponibles para un puente H, sin embargo, se escogió por cuestiones de seguridad el controlador de motores L298N, ya que soporta un rango más amplio de voltaje, mientras que otras opciones tiene como límite superior un voltaje de operación de 12 V.

**Tabla 2. 17***Características técnicas del controlador L298N*

Figura	Características
	Voltaje de operación: 5V-35V
	Consumo de corriente: 0-36 mA
	Potencia máxima: 25 mW

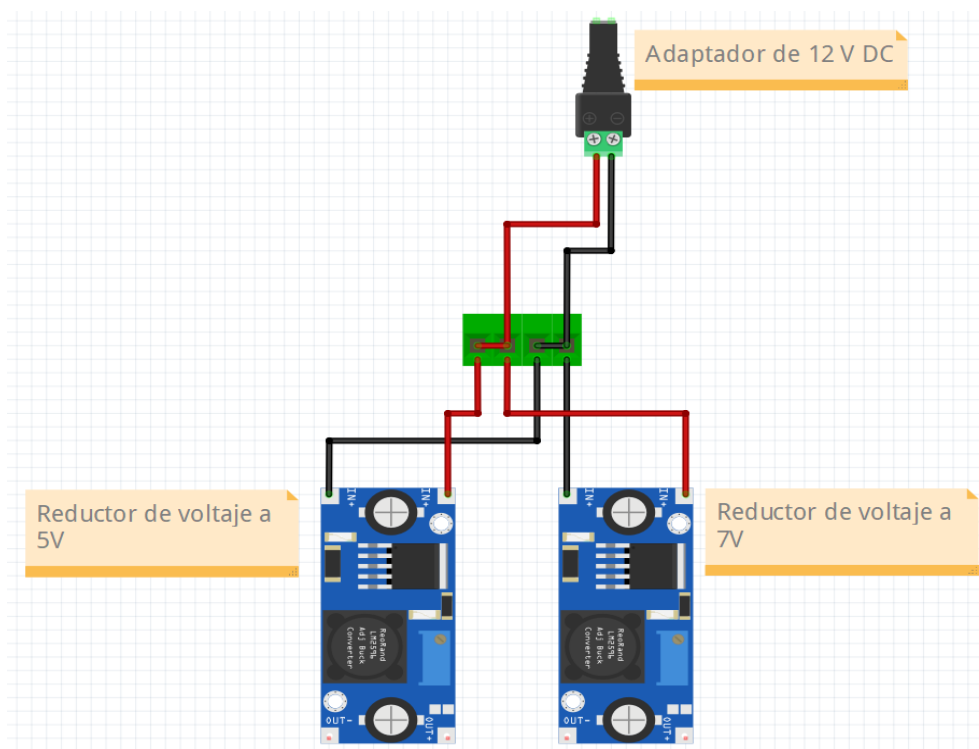
### 2.5.4 Diseño de circuito eléctrico

Se usó un adaptador de 12 V como fuente de alimentación. Los elementos a conectarse son el Arduino Nano, el módulo ESP32, los sensores, bombas dosificadoras y los módulos relés. Fue necesario buscar una forma de disminuir el voltaje en los componentes eléctricos que operan con menor voltaje, para así evitar cualquier daño. Una respuesta adecuada fue el uso de dos reductores de voltaje variable, basados en el componente Lm2596.

Uno fue destinado a la alimentación de las placas de desarrollo, por lo que se ajustó su voltaje de salida, tal que este marcarse 7 Voltios, siendo este un valor que está dentro del rango de trabajo recomendado para ambas placas. El segundo reductor de voltaje se ajustó a una salida de 5 voltios, y fue destinado a la alimentación de los sensores y relés. La **Figura 2.6** muestra el diagrama de conexiones de la sección de alimentación del sistema.

**Figura 2. 6**

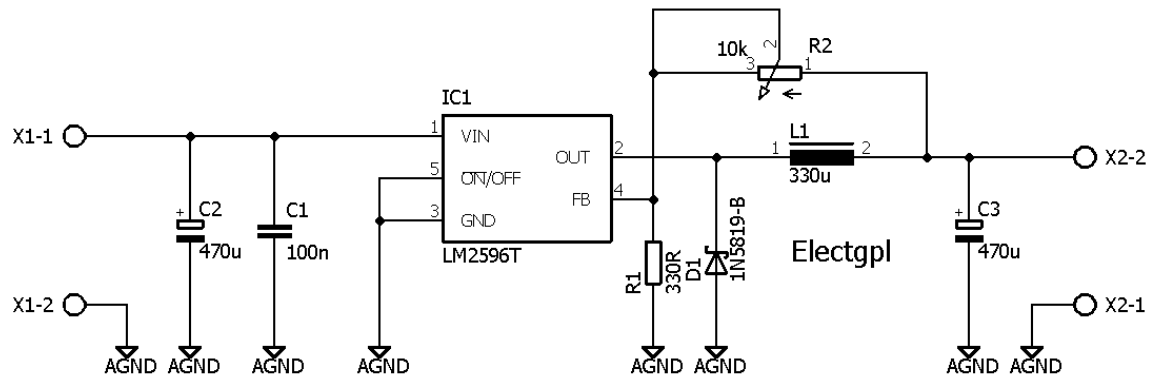
*Diagrama de alimentación del sistema*



La **Figura 2.7**, muestra el diagrama eléctrico del reductor de voltaje utilizado [49].

**Figura 2. 7**

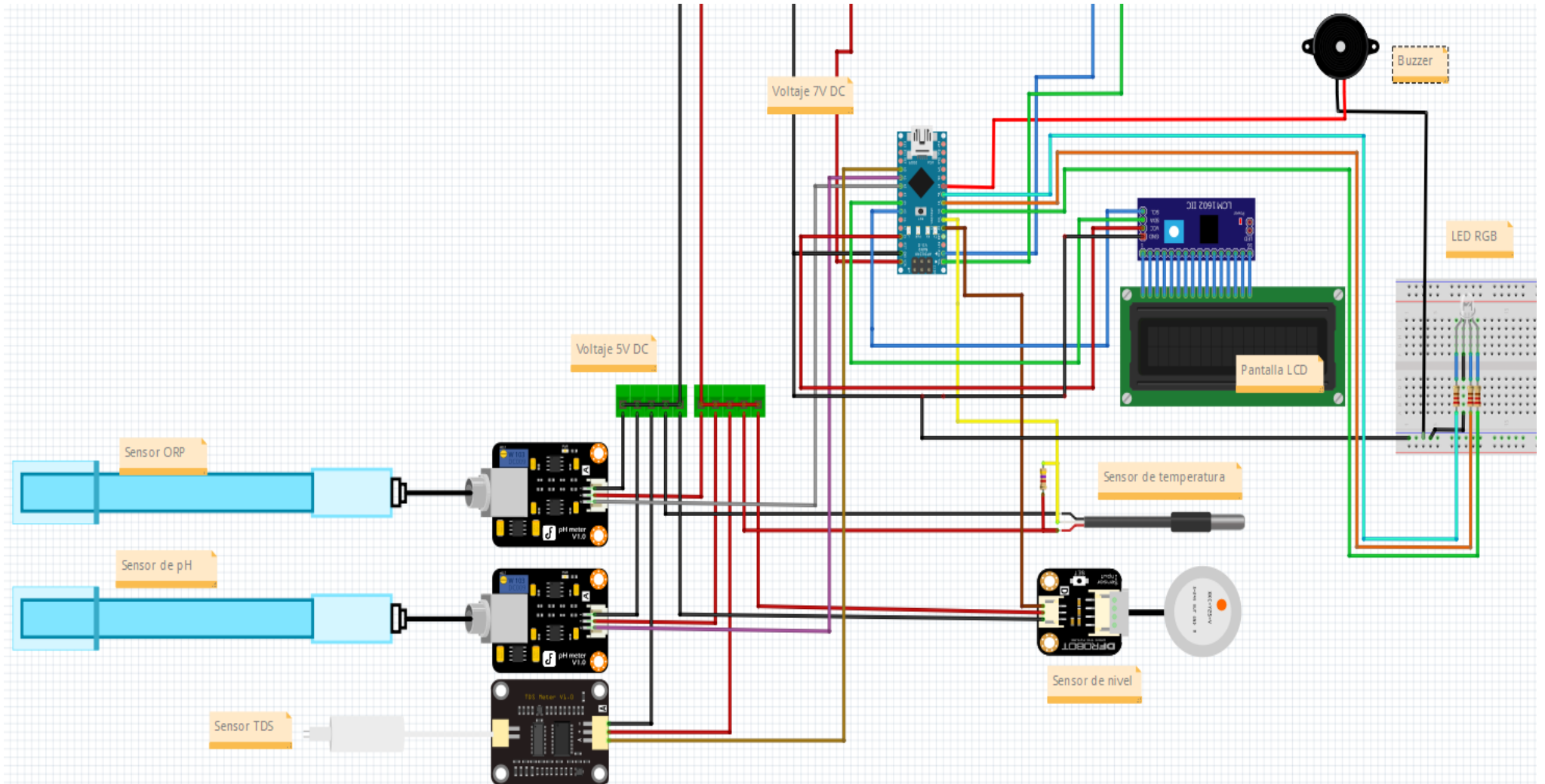
*Circuito reductor de voltaje*



La función principal de la placa Arduino Nano es de ser un intermediario para recibir los datos provenientes de los sensores, y enviar dicha información por comunicación serial al ESP32. Este último lee la información de control establecida por el usuario para la activación de los actuadores del sistema. La **Figura 2.8** muestra el diagrama de conexiones de este módulo utilizando el software Fritzing.

Figura 2. 8

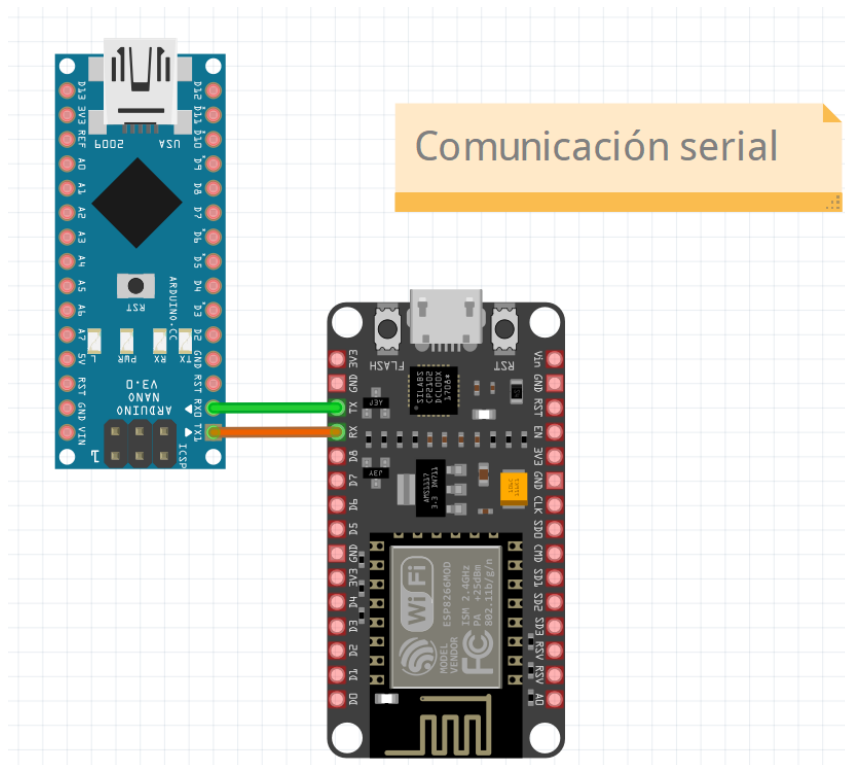
Diagrama de conexiones de la placa Arduino Nano



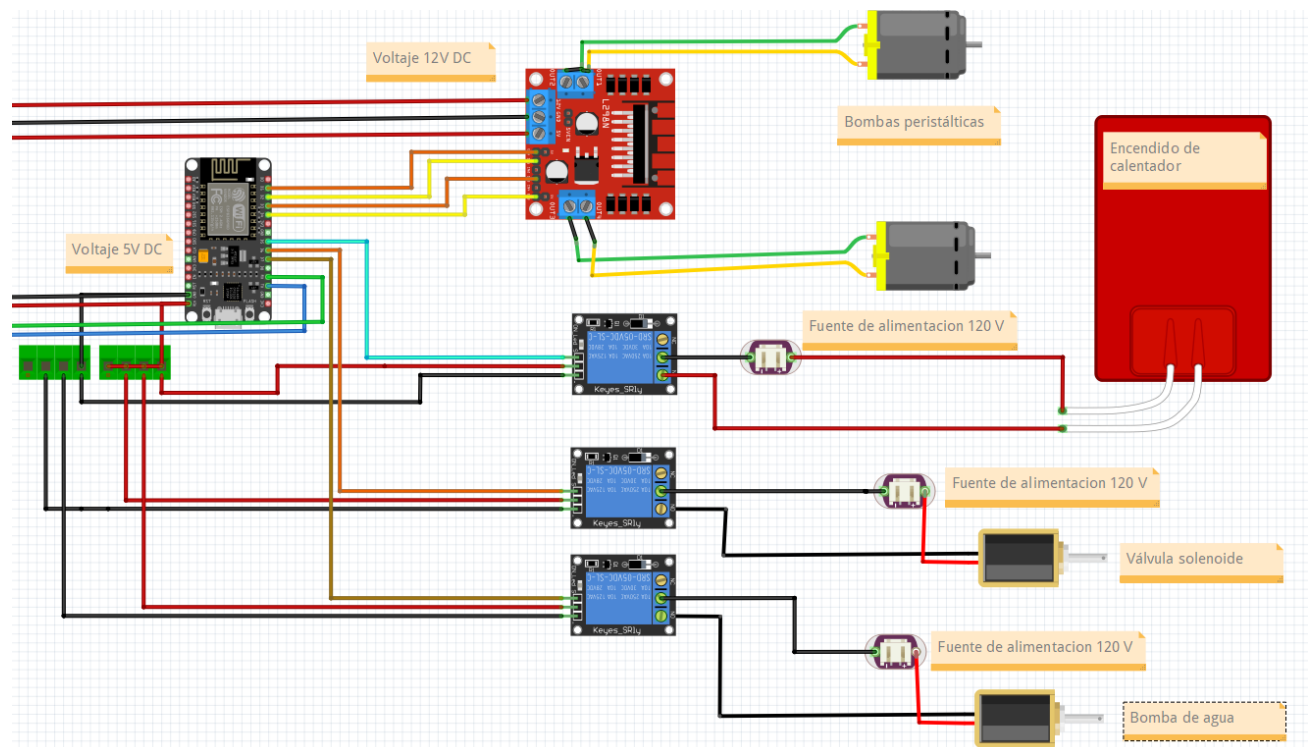
La **Figura 2.9** muestra la conexión que se utilizó para establecer la comunicación serial entre la placa de desarrollo y el módulo ESP32.

**Figura 2. 9**

*Conexión para comunicación serial*



La **Figura 2.10** enseña la placa ESP32, encargada de controlar el módulo de relés, y las bombas peristálticas.

**Figura 2. 10***Sistema de control de actuadores*

## 2.6 Parámetros de diseño informático

### 2.6.1 Programación de controladores

La programación de las placas de desarrollo se realizó utilizando la IDE de Arduino. Para los sensores de pH, ORP y TDS no fue necesario contar con librerías externas, puesto que se trabajó directamente con señales analógicas. Solo se requirió realizar la lectura de las señales y escalarlas, según las especificaciones de cada sensor.

En cambio, el sensor de temperatura necesito de la librería <OneWire.h> para establecer él envío de datos por el pin digital. Asimismo, se implementó la librería <DallasTemperature.h>, que permitió solicitar la temperatura en grados Celsius directamente.



Con respecto al sensor de líquidos, este brindó la señal digital *LOW* cuando no detecta presencia de agua, y *HIGH* cuando se activa el sensor. En este caso se pudo hacer la lectura directamente en el pin digital.

Por facilidad, toda la información captada se almacena en un objeto JSON, por lo que fue necesario usar la librería <ArduinoJson.h>

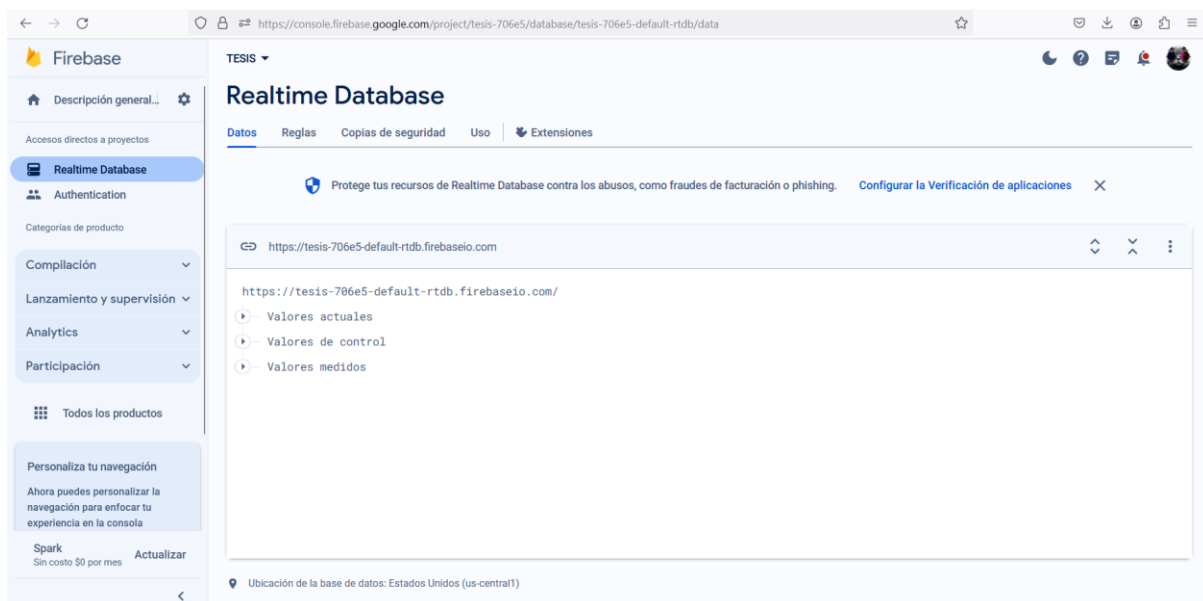
La placa ESP32 controló los actuadores con señales digitales. Adicionalmente, para las bombas peristálticas, utilizo señales PWM para regular la velocidad. Para el acceso con la red local de internet se usó la librería <WiFi.h>, mientras que para la conexión y envío de datos a RealTime Database se usó <Firebase\_ESP\_Client.h>.

## 2.6.2 Diseño de base de datos

Como servicio se utilizó RealTime Database, un sistema de base de datos no SQL. Al ser de tipo remota, facilita la interconexión con la aplicación móvil, al conectarse desde cualquier parte con el teléfono. La **Figura 2.11** demuestra la creación de la base de datos.

**Figura 2. 11**

*Creación de base de datos*



### 2.6.3 Diseño de la interface de visualización.

Se utilizó el marco de código abierto Flutter para crear la interfaz gráfica que permita visualizar la información recolectada desde RealTime Database. Esta plataforma cuenta con una variedad de bibliotecas que facilitan la implementación de gráficos y lecturas en tiempo real. La **Figura 2.12** refleja la creación de la interfaz.

**Figura 2. 12**

*Pantalla de inicio de la aplicación móvil*



## 2.7 Parámetros de diseño mecánico

### 2.7.1 Diseño de carcasa protectora

Para las conexiones eléctricas del sistema de control y monitoreo propuesto, se diseñó una carcasa protectora en Fusion 360, 2023, la cual contendrá el Arduino Nano, el módulo Wifi,

así como los elementos electrónicos necesarios para el correcto funcionamiento de los sensores y actuadores. Esta carcasa tiene el fin de proteger la parte eléctrica del sistema. Su tamaño se ajusta a las dimensiones requeridas de la PCB, además de que en su tapa se tienen los espacios para integrar una pantalla LCD, un led y las bombas dosificadoras.

Un elemento adicional fue una regleta de enchufes encargada del encendido de la bomba de agua, así como de los sistemas de control On-Off de control de temperatura y llenado automático de la piscina.

### **2.7.2 Diseño de módulo adaptador para probetas**

Es necesario realizar una adaptación en las tuberías para poder colocar los 4 sensores que se ubicaran en ella, para ello se diseñaron 2 medidas de adaptadores. Para los sensores de temperatura y sólidos disueltos se colocó un diámetro de 7 mm, debido a que estos sensores son más pequeños en comparación a los otros. Los adaptadores de los sensores de pH y ORP tendrán un diámetro de media pulgada. El material usar deberá ser tubería PVC con anillos de caucho en los agujeros, para así evitar fugas.

## **Capítulo 3**

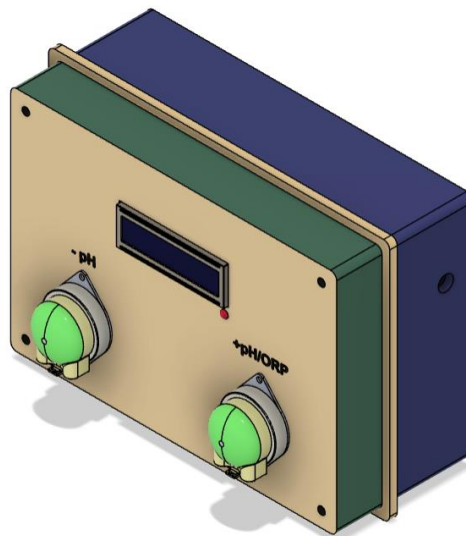
### 3.1 Resultados y análisis

#### 3.1.1 Diseño mecánico del dispositivo

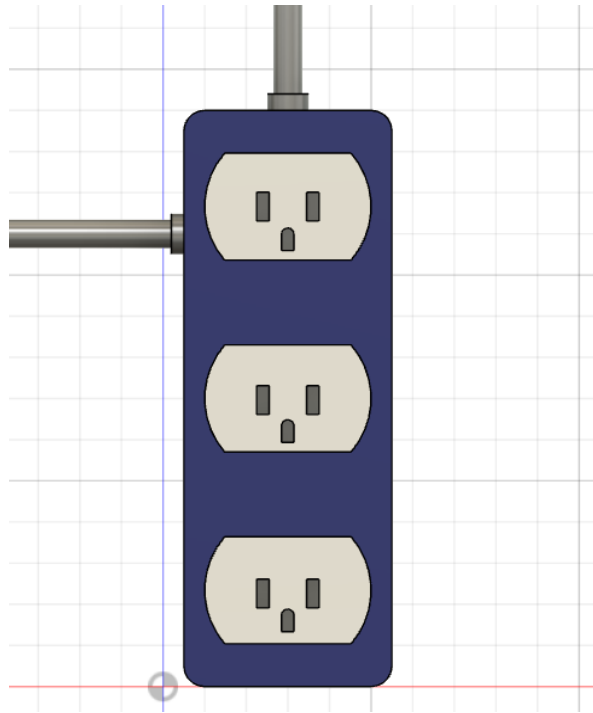
La **Figura 3.1** demuestra la solución planteada en el apartado mecánico del diseño. Se observa una carcasa cerrada con agujeros en los costados y en la parte inferior donde saldrán los cables conectados a la regleta de enchufes y los sensores. Para el aislamiento de los cables y asegurar un cierre hermético que evite el ingreso de agua al sistema fue necesario el uso de prensaestopas. El material seleccionado corresponde a acero galvanizado, debido a su durabilidad y resistencia a las condiciones ambientales que experimentara al estar en el exterior.

**Figura 3. 1**

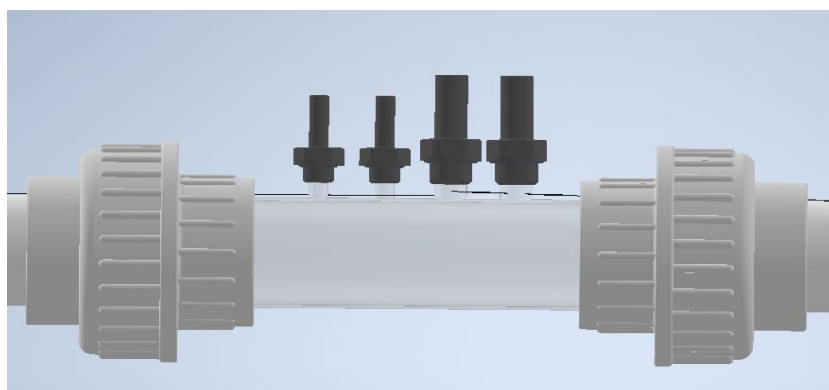
*Carcasa protectora del módulo central del sistema*



Adicionalmente, en la **Figura 3.2**, se visualiza el diseño de la regleta de enchufe encargada del control *On-Off* de los elementos del cuarto de máquina. Este dispositivo estará montado en una pared y está conectado tanto al dispositivo de control, como a una línea energética de 120 V en corriente alterna.

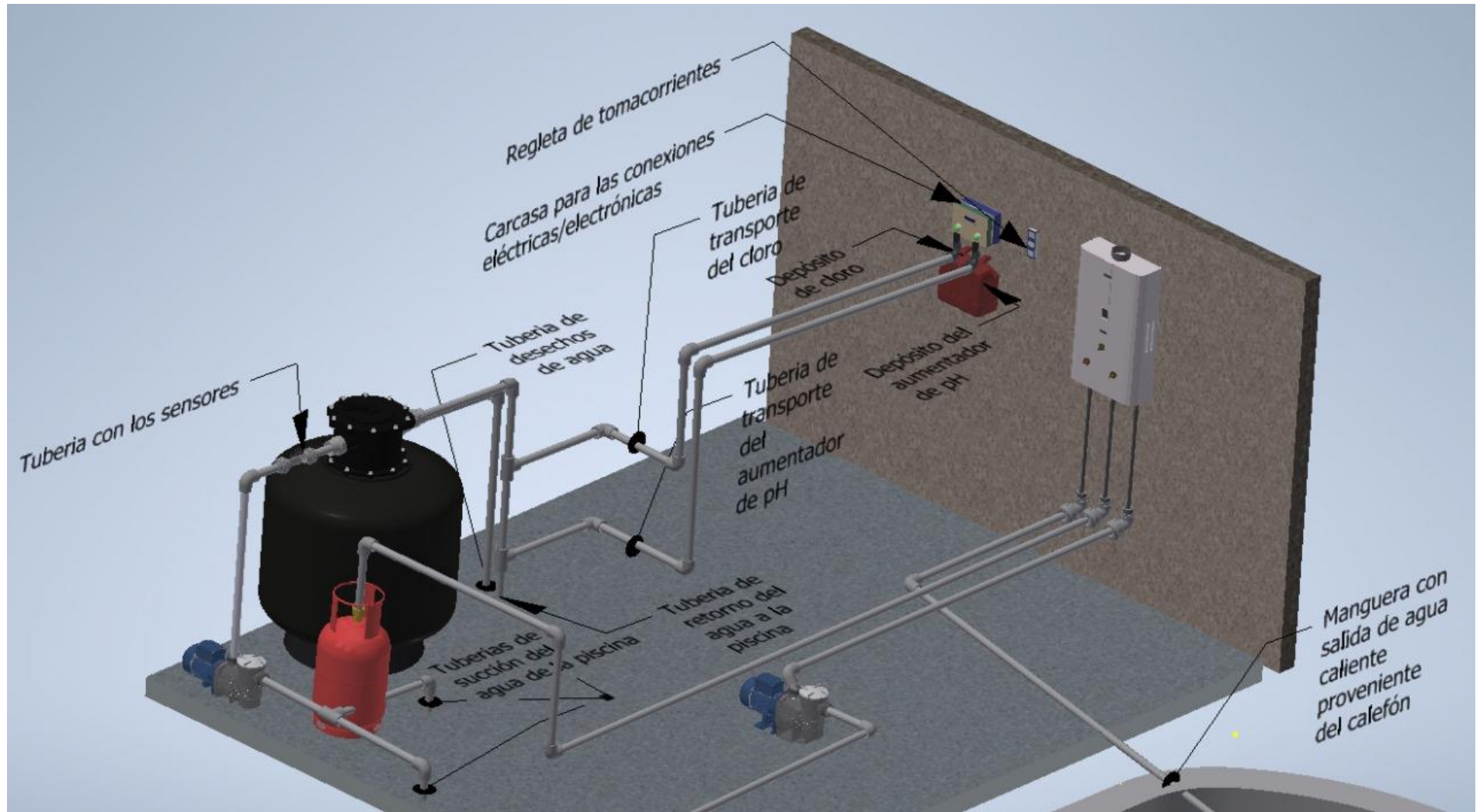
**Figura 3. 2***Regleta de enchufes*

La **Figura 3.3** enseña el módulo adaptador con los acoples necesarios para el ingreso de los sensores de temperatura, pH, ORP y TDS. Su material de construcción es PVC, el mismo normalmente usado en el sistema de tuberías de las piscinas. Los planos con sus respectivas medidas se encuentran en el **Apéndice K**.

**Figura 3. 3***Módulo adaptador para los sensores*

### 3.1.2 Ubicación del dispositivo con sus sensores

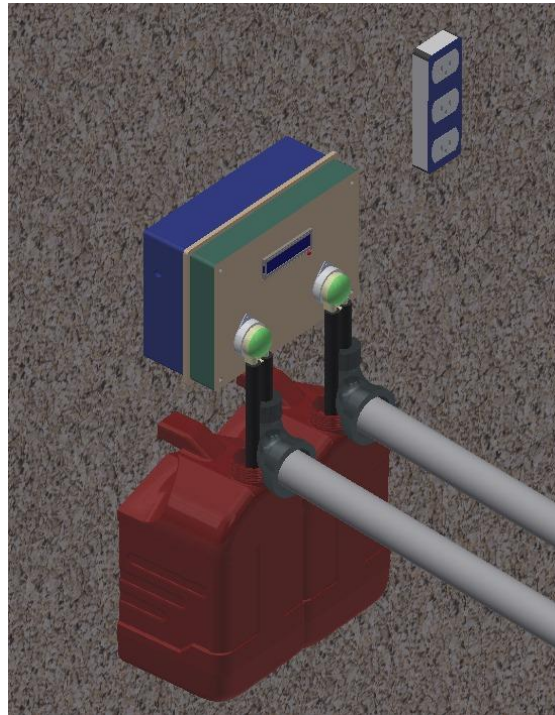
Se procedió a hacer un modelado 3D del cuarto de máquinas de la piscina del cliente, en el cual se denota la ubicación del dispositivo. Se diferencia los elementos a controlar como lo son la bomba de agua principal, la bomba de agua del calentador y la llave solenoide para el llenado de la piscina. La **Figura 3.4** y **Figura 3.5** enseña la estructura común de un cuarto de máquinas de una piscina y la ubicación del dispositivo, mientras que la **Figura 3.6** muestra las conexiones necesarias entre el módulo de acople de sensores y la unidad central.

**Figura 3. 4***Cuarto de máquina de la piscina*

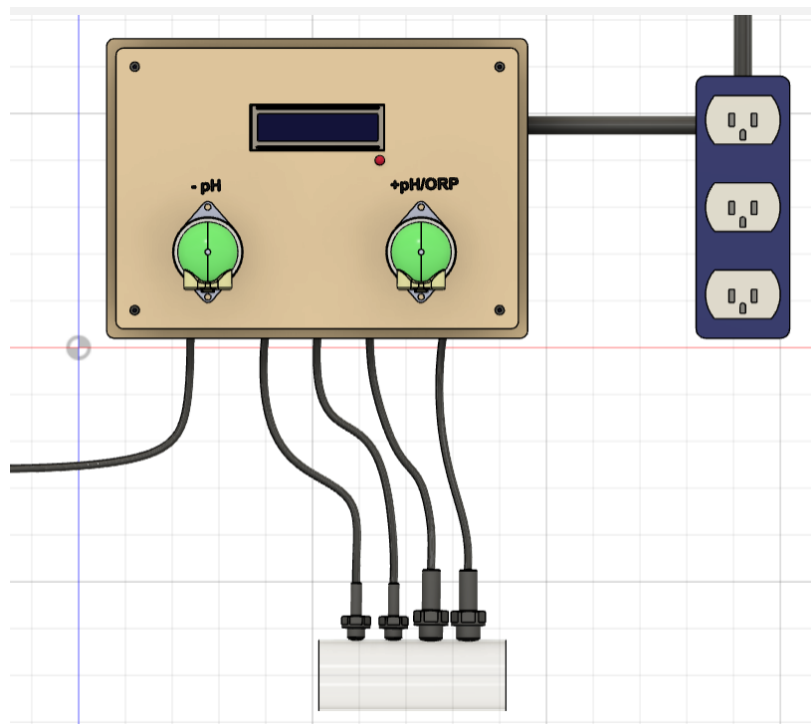


**Figura 3. 5**

*Conexión entre bombas peristálticas y reservorio de químicos*

**Figura 3. 6**

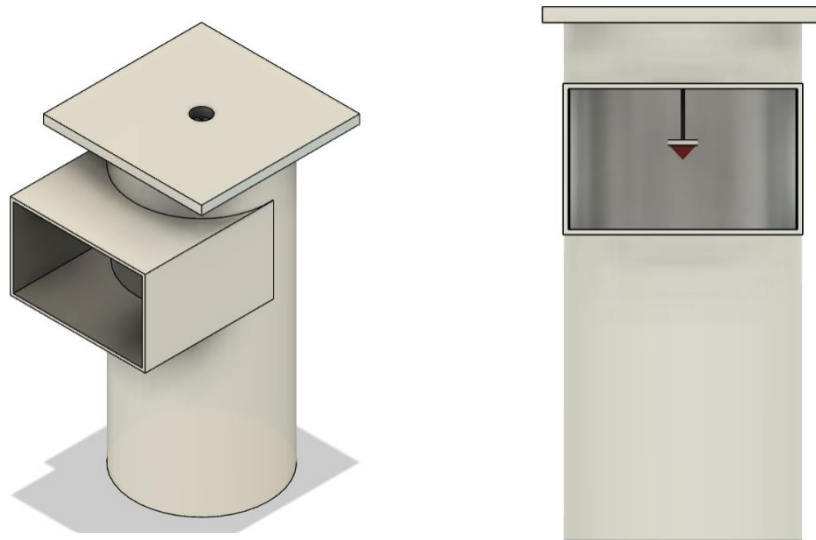
*Conexión entre dispositivo y módulo de acople*



La **Figura 3.7** es una representación de la ubicación del sensor de nivel en uno de los separadores superficiales (*skimmers*), siendo la ubicación más apropiada, a la altura de la mitad del mismo.

**Figura 3. 7**

*Ubicación del sensor de nivel en el skimmer*



### 3.1.3 Diseño electrónico del sistema

Se logró el diseño de una placa PCB que cuente con los dispositivos de control del Arduino Nano y un módulo Wifi ESP32. La **Figura 3.8** muestra el esquema eléctrico con la totalidad de las conexiones hechas en el sistema, la **Figura 3.9** enseña el esquema de la PCB, cuyo tamaño es de 170 mm x 130 mm.

La información captada por los sensores conectados en el Arduino Nano se envió por comunicación serial al módulo Wifi. Este tiene la función de enviar las mediciones a la base de datos de Realtime Database y de encargarse del control de los actuadores, mediante la comparación de las lecturas en tiempo real con los valores de control establecidos por el cliente. El control *On-Off* se realiza con el uso de sus pines digitales capaces de generar una señal *HIGH* y *LOW*, pudiendo accionar los relés y, en consecuencia, controlar el encendido de ambas

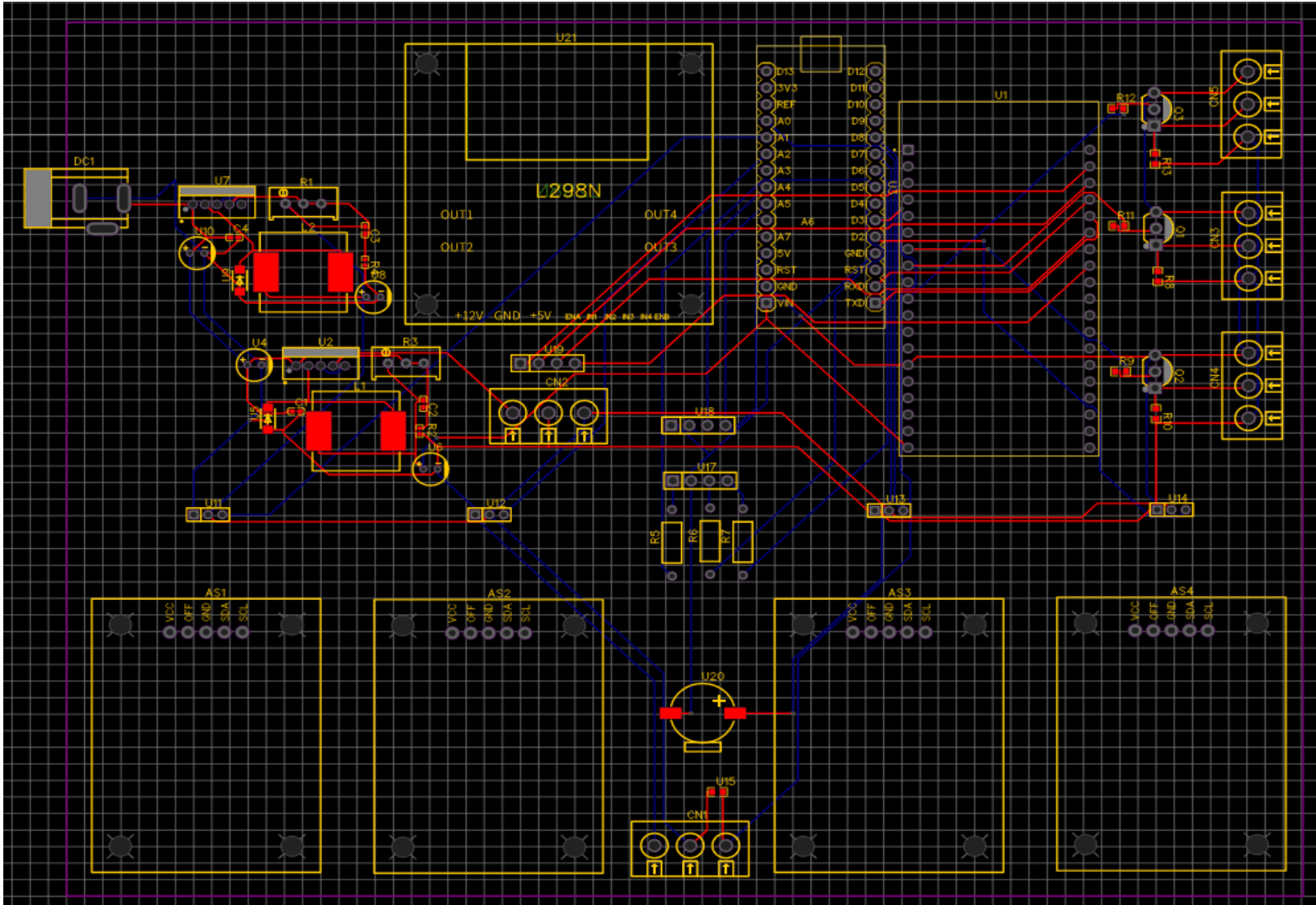
bombas de agua, como la electroválvula. En cambio, el control proporcional se dio con ayuda de señales PWM y un puente H L298n, que ayudó a controlar la velocidad de dosificación de los químicos reguladores de pH y cloro.

La alimentación del circuito se dio mediante una fuente constante de 12 V DC. Esta fuente se distribuye en 3 secciones específicas. Mediante los reductores de voltaje se reduce el voltaje a 5 V y 7 V. La sección alimentada por 5V está destinada a distribuir energía a los sensores conectados a la placa Arduino Nano, y al módulo de relés. La alimentación de 7 V se utilizó para energizar ambas placas de programación. Por último, la sección que aún cuenta con un voltaje de 12 V está conectada al puente H, lo que alimentara ambas bombas dosificadoras.



Figura 3.9

PCB del sistema eléctrico



**Figura 3. 10**

*Prototipo de la unidad central*



### 3.1.3.1 Consumo eléctrico

Fue de un interés mayor mantener un suministro constante de energía a cada parte del circuito, por lo que se limitó el uso de las placas de desarrollo como método de suministro de energía, ya que es posible sobrepasar la capacidad de distribución de corriente de ambos módulos, generando un trabajo inadecuado en los elementos del sistema.

La **Tabla 3.1** presenta el consumo eléctrico del sistema.

**Tabla 3. 1***Consumo eléctrico del sistema*

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Voltaje [V]</b>	<b>Corriente total [mA]</b>	<b>Potencia total [mW]</b>
Sensor de PH + BNC Probe 0-14 PH	1	5	10	50
Sensor ORP - Módulo ORP	1	5	10	50
Sensor de solidos disueltos (TDS)	1	5	6	30
Sensor de nivel de agua tipo fotoeléctrico	1	5	12	60
Sensor DS18B20	1	5	1.5	7,5
Arduino Nano	1	7	19	133
ESP 32	1	7	260	1820
Controlador de motor L298n	1	12	36	25
Bomba peristáltica	2	12	500	6000
Módulo Relé	3	5	210	1050
Pantalla LCD 16 X 2	1	5	120	600
Buzzer	1	5	10	50
Led RGB	1	5	50	250
<b>Total</b>			<b>1243</b>	<b>10125,5</b>

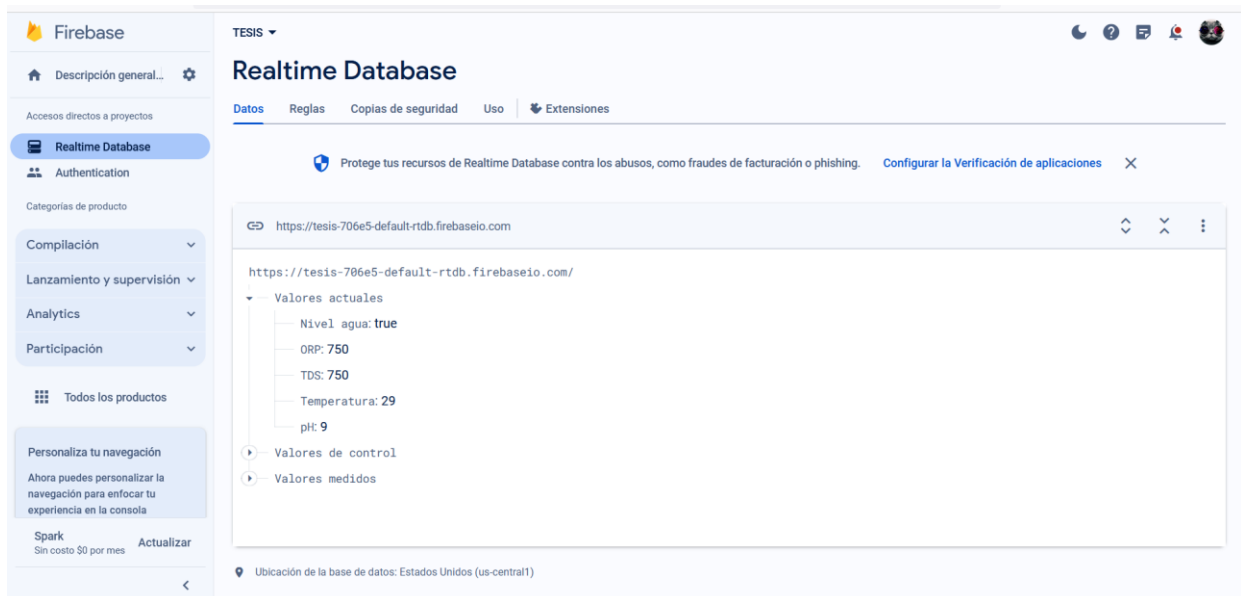
Se observa que el sistema posee un consumo de alrededor de 10.13 W. Según el consumo de corriente se decidió utilizar una fuente de alimentación de 12 V capaz de suministrar 1.5 A.

### 3.1.4 Diseño informático

Fue posible la conexión entre la base de datos tanto con la aplicación móvil como con el módulo Wifi, logrando un intercambio fluido de los valores medidos en tiempo real como, los valores de control y el registro de datos registrados. La **Figura 3.11, 3.12 y 3.13** muestra las ramificaciones necesarias para almacenar y buscar la información necesaria para realizar el control de parámetros y para presentarlo de forma visual en la aplicación móvil.

**Figura 3. 11**

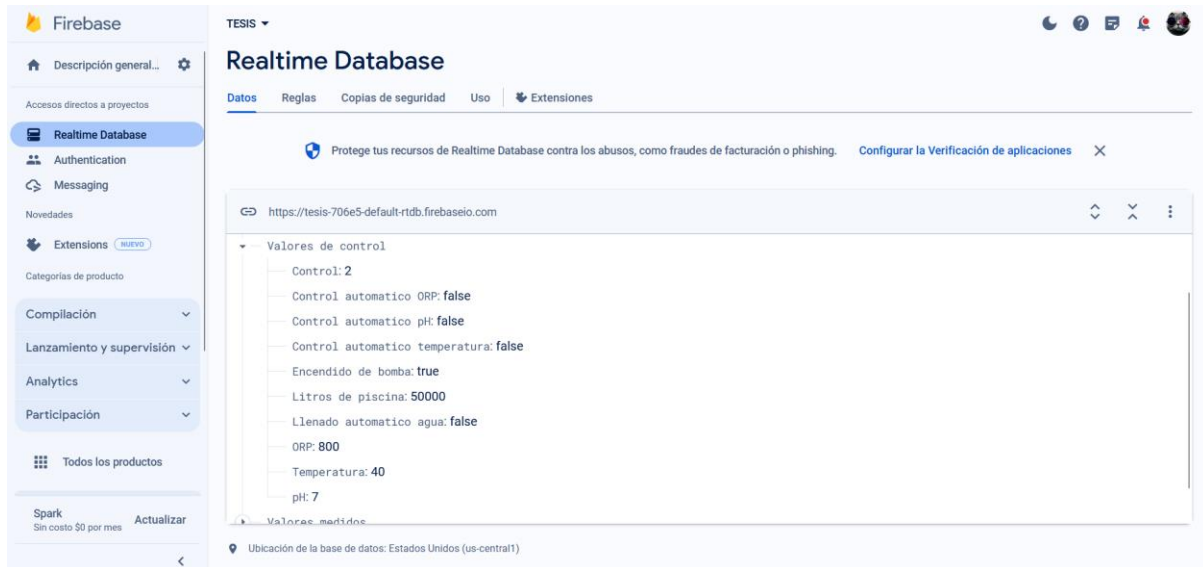
*Valores medidos en tiempo real*



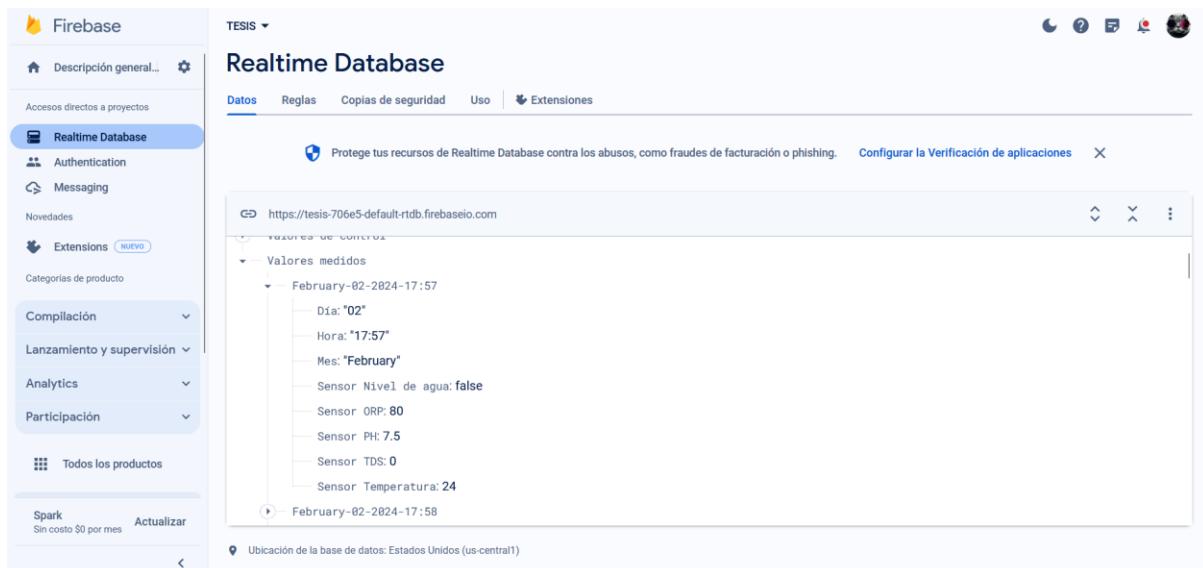


**Figura 3. 12**

*Valores de control establecidos por el usuario*

**Figura 3. 13**

*Registro de datos medidos a través del tiempo*



Fue posible presentar al cliente los valores actuales de los parámetros de la piscina, así como brindarle las opciones de control deseado de los parámetros de pH, ORP, temperatura y de los actuadores como las bombas principales de agua y el llenado de la piscina.

El **Apéndice J** presenta una explicación del significado de las ramificaciones principales y de las diversas pantallas presentes en la aplicación móvil.

Adicionalmente, se pudo hacer una representación gráfica de los cambios en los valores medidos con el pasar del tiempo, como se ve en la **Figura 3.14**, y presentar un registro detallado de datos más antiguos, como se denota en la **Figura 3.15**.

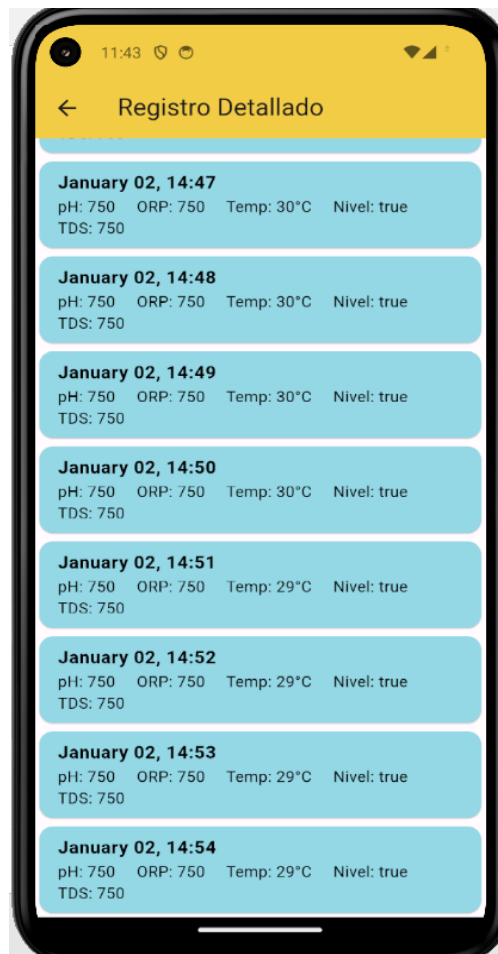
**Figura 3. 14**

*Representación gráfica de las últimas 10 mediciones tomadas*



**Figura 3. 15**

*Registro histórico de los valores medidos*



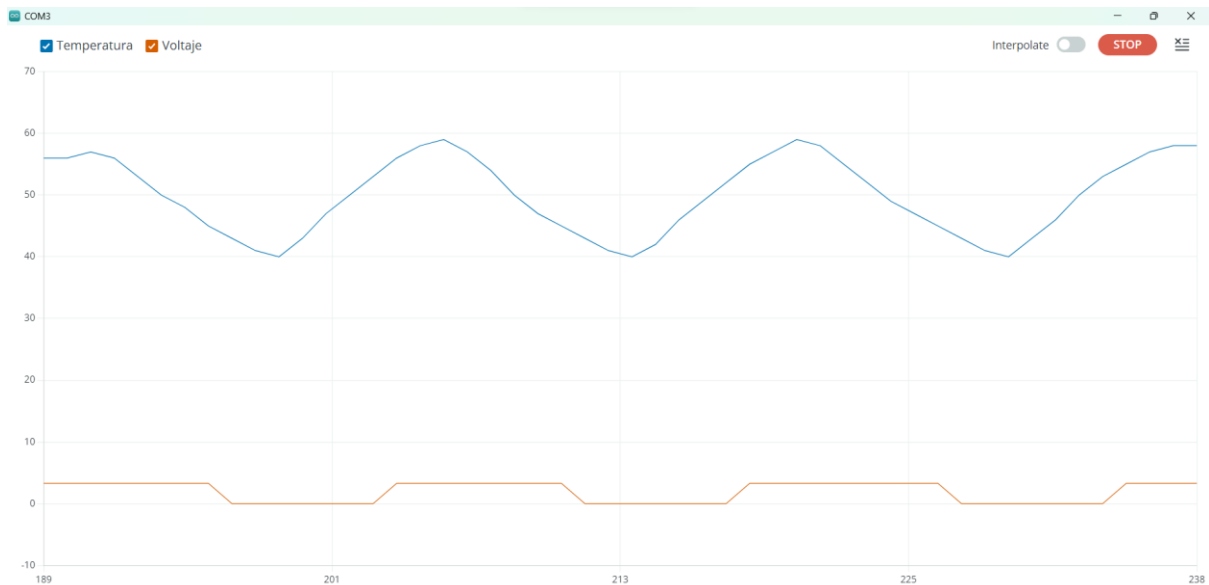
### 3.1.5 Diseño del sistema de control

Para el control de temperatura se optó por el uso de un controlador *On-Off*. Este método de control posee un comportamiento binario donde se reconocerá dos estados del sistema (encendido y apagado). Necesita de un punto de control establecido por el usuario, además de una zona muerta del 10%, esto permitirá mantener la temperatura dentro de un rango establecido por un periodo más largo de tiempo. La **Figura 3.16** denota una gráfica de este comportamiento, donde la línea azul representa la temperatura captada por el sensor y la línea

roja corresponde a los valores *HIGH* y *LOW* enviados para el encendido del calentador. Estos valores corresponden a 3.3 V y 0 V.

**Figura 3. 16**

*Representación gráfica de control de temperatura On-Off*



*Nota.* La figura muestra los cambios de temperatura y la respuesta del voltaje en el pin de salida digital. En este caso se desea una temperatura de alrededor de 55°C

En el caso del control de nivel de agua, este se basó en el mismo principio de funcionamiento, con la diferencia de que no posee ninguna zona muerta, por lo que la activación de la llave solenoide ocurre en el momento en que se detecte la ausencia de líquido. Adicionalmente, se brinda al usuario la opción de configurar el control de pH y ORP por el método *On-Off*, puesto que resulta una alternativa sencilla en caso de piscinas de gran tamaño, donde el riesgo de una dosificación de químicos excesiva es menor.

### **Modo proporcional**

Este método corresponde a una alternativa capaz de mitigar el porcentaje de error en el control *On-Off*, puesto que permitió disminuir la razón de dosificación entre más cerca se

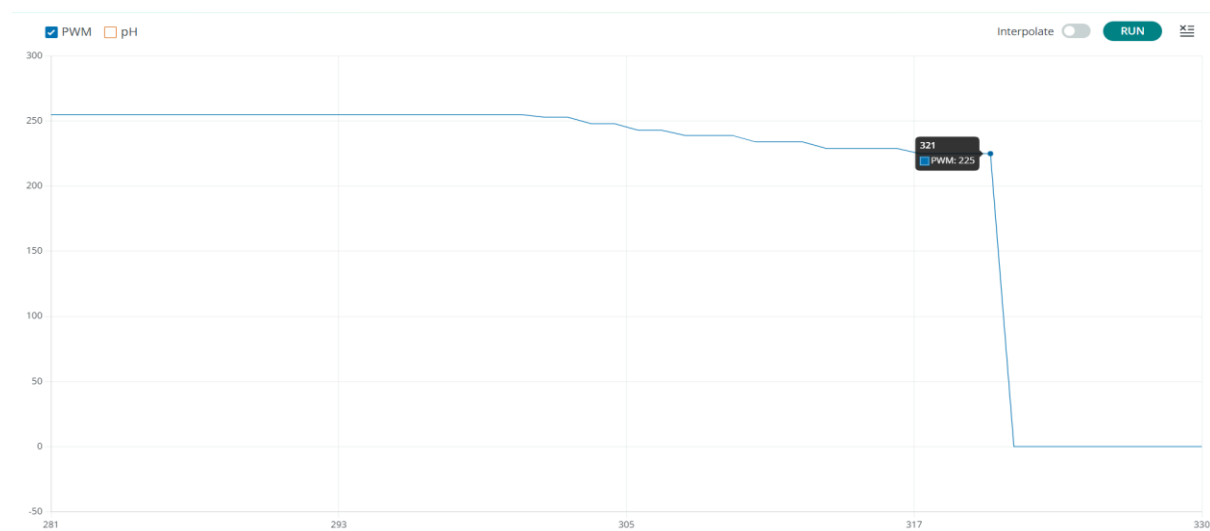
estuvo del valor deseado, esto mediante la regulación de las señales PWM enviadas al elemento L298n.

La placa ESP32 envió señales cuya frecuencia de encendido reguló la velocidad de los motores DC de las bombas dosificadora, permitiendo reducir progresivamente el flujo de químicos a través de ellos. En este caso se optó por una zona proporcional del 10% del valor deseado. Al momento en que los sensores detecten un valor dentro de este rango, la señal PWM irá reduciéndose hasta llegar al valor deseado, donde procederá a apagarse las bombas peristálticas.

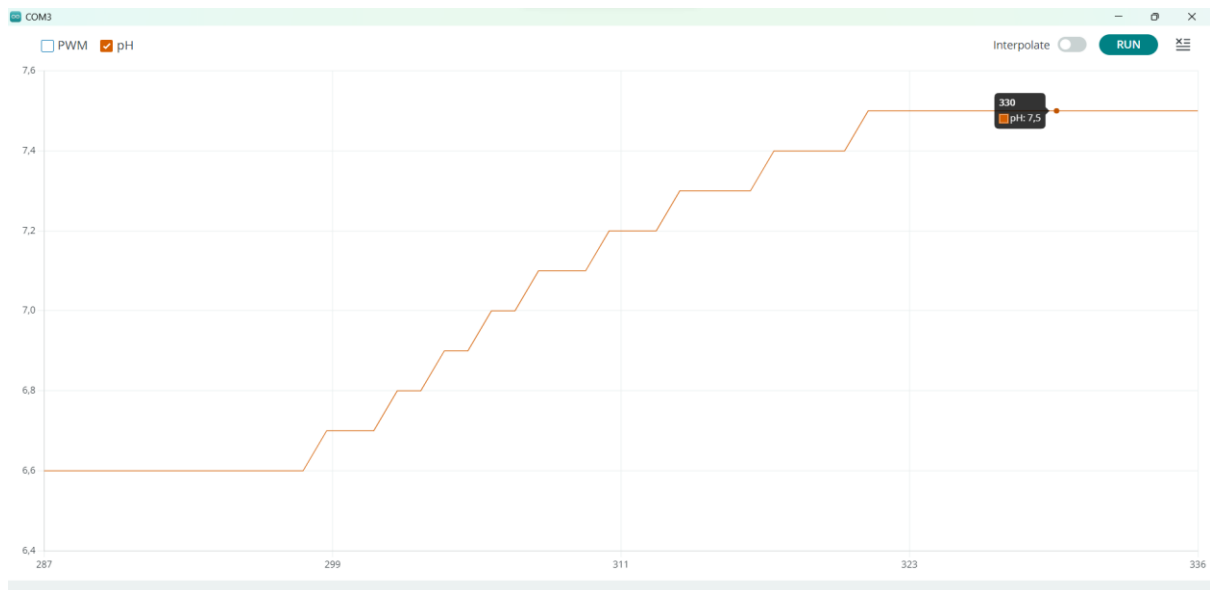
Durante la experimentación se encontró que la mínima señal en la que los motores pueden operar es de 220. La **Figura 3.17** y **Figura 3.18** muestra una representación gráfica del comportamiento obtenido al momento de elevar el nivel de pH de 6.6 al valor deseado de 7.5, con un porcentaje de zona proporcional del 10%.

**Figura 3. 17**

*Señal PWM según el método proporcional*



*Nota.* La figura muestra los cambios de la señal PWM entre los rangos 220 y 255. Una vez se llega al valor deseado, se apaga la bomba dosificadora llevando el valor de la señal a 0.

**Figura 3. 18***Elevación de los valores de pH*

### Control PID

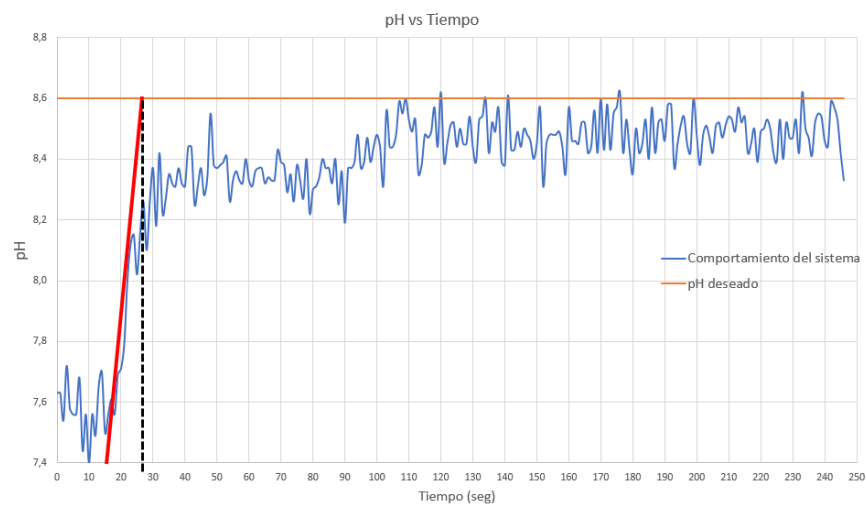
La implementación de un controlador PID resulta de la necesidad de poseer un control más eficiente para piscinas de menor tamaño, puesto que estas resultan más propensas a la sobrealimentación química. Mediante el uso de este controlador se elimina la posibilidad de excederse por encima de los valores deseados.

En este caso se analiza de forma experimental un sistema en donde se eleva el pH de 7,6 a 8,6 y un sistema donde el nivel de ORP va desde 436 a 582 mV. El **Apéndice D** detalla a fondo las condiciones de trabajo y las ecuaciones para definir el sistema.

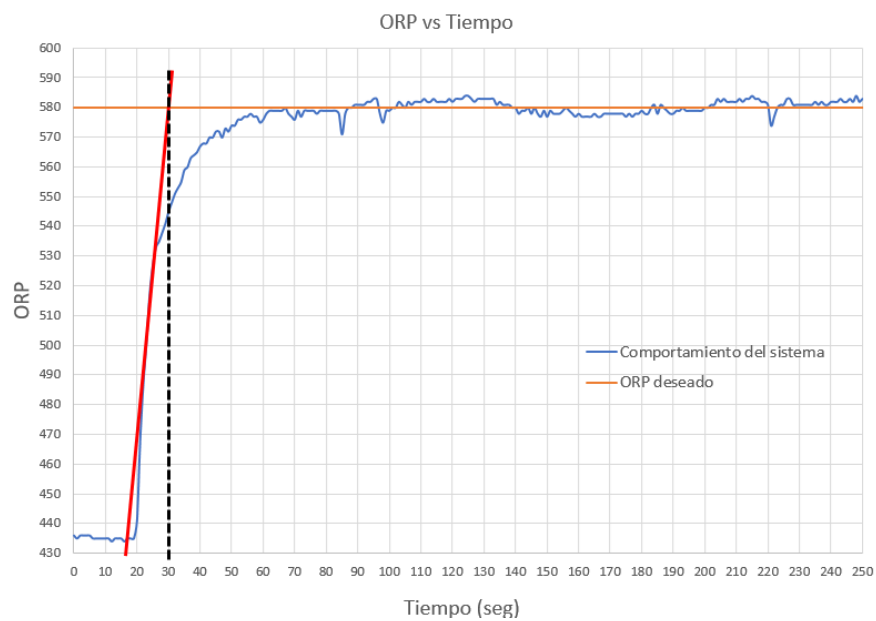
Las **Figuras 3.19** y **3.20** enseñan el comportamiento de estos sistemas junto con la obtención de los valores  $K$ ,  $L$  y la constante de tiempo para construir el controlador PID.

**Figura 3. 19**

*Comportamiento del sistema al utilizar elevador de pH*

**Figura 3. 20**

*Comportamiento del sistema al utilizar cloro líquido*



Se hizo uso de método de lazo abierto de Ziegler Nichols para determinar los parámetros de control  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$ , siguiendo las **ecuaciones D4, D.5 y D.6**.

La **Tabla 3.2** denota los valores encontrados en base a las gráficas presentadas.

**Tabla 3. 2***Parámetros PID para el control de pH y ORP*

	$K$	$L$	$\tau$	$K_p$	$K_i$	$K_d$
<b>pH</b>	8,6	15	12	0,1116	0,00372	0,837
<b>ORP</b>	580	16	14	0,0018	0,00005625	0,0144

En este caso, se obtuvo el comportamiento de los cambios de los valores de pH y ORP de manera experimental, con valores de control predefinidos. Por lo que en caso de que se desee establecer un nuevo punto de control para estos parámetros, será necesario realizar reajustes en el controlador.

Los códigos utilizados para los sistemas de control se encuentran en el **Apéndice B**, mientras que las especificaciones hechas para la obtención de este controlador se encuentran en el **Apéndice D**.

### 3.1.6 Análisis de costos

En la **Tabla 3.3** se detallan los costos de los elementos electrónicos y placas programables necesarios para la construcción de la solución propuesta. La **Tabla 3.4** muestra los gastos para la elaboración de los elementos mecánicos como la carcasa protectora, el módulo de acople de los sensores, la regleta para el control *On-Off* y la elaboración del PCB. Cabe resaltar que estos precios de adquisición son por unidad, y una compra de estos productos al por mayor resulta en una disminución de los costos.



**Tabla 3. 3***Gastos de componentes electrónicos*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
Sensor pH + Módulo de señal	1	22,35	22,35
Sensor ORP + Módulo de señal	1	35,83	35,83
Sensor TDS + Módulo de señal	1	7,99	7,99
Sensor de nivel + Módulo de señal	1	13,99	13,99
Sensor DS18B20	1	3,99	3,99
ESP32	1	6,98	6,98
Arduino Nano	1	10,99	10,99
Mini bomba peristáltica	2	11,99	23,98
Pantalla LCD con módulo I2C	1	6,99	6,99
Controlador 1298n	1	3,50	3,50
Reductores de voltaje	2	1,99	3,98
Módulo relé	3	1,75	5,25
Resistencia 220	3	0,04	0,12
Resistencia 4.7	1	0,04	0,04
Buzzer 5v	1	0,50	0,50
LED RGB de 4 pines	1	0,50	0,50
<b>Total</b>			<b>146,98</b>

**Tabla 3. 4***Gastos en los materiales de construcción*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
Carcasa protectora de acero galvanizado	1	35,00	35,00
Tubería PVC 30 cm	1	1,99	1,99
Adaptadores de tubería PVC	4	0,70	2,80
Carcasa para de la regleta	1	2,99	2,99
Conectores hembra	3	0.89	2,67
Fabricación de PCB	1	31	31,00
<b>Total</b>			<b>76,45</b>

Al momento de desarrollar la prueba de concepto se usó una versión gratuita de Realtime Database con almacenamiento limitado de 1 GB de almacenamiento y 10 GB para la transferencia de datos [50], pero en una implementación real vale la pena pagar por los servicios de almacenamiento adicionales de esta base de datos, suponiendo que se contara con varios usuarios al mismo tiempo.

Finalmente, se cuenta con los costos iniciales de la mano de obra para el diseño y programación de la aplicación móvil para el desarrollo de la solución propuesta, así como los costos de obtención de la PCB. La **Tabla 3.5** refleja estos gastos.

**Tabla 3. 5***Gastos adicionales*

<b>Descripción</b>	<b>Precio (\$)</b>
Proceso de diseño	400,00
Costo por 20 GB de almacenamiento	95,00
Costo por 20 GB de información enviada al usuario	10,00
Programación de la aplicación móvil	200,00
<b>Total</b>	<b>705</b>

En base a todos los gastos presentado, se estima un costo total de fabricación de 928,43 dólares.

## **Capítulo 4**

#### 4.1 Conclusiones

- Una vez terminado el desarrollo de la solución propuesta, se logró el diseño de un sistema mecatrónico hermético, capaz de realizar las debidas lecturas y control de los parámetros más importantes de una piscina recreativa mediante el uso de sensores, actuadores y una interfaz gráfica de usuario para el monitoreo y regulación de dichos valores.
- Se logró el desarrollo de interfaz gráfica intuitiva e interactiva en una aplicación móvil, donde el usuario tiene la capacidad de visualizar los datos en tiempo real, a la vez de consultar un registro de la información tomada con anterioridad mediante el uso de Realtime Database como intermediario para el almacenamiento de datos en la nube.
- El uso de Realtime Database como un punto de conexión entre el sistema de monitoreo y control con la aplicación móvil, brindó una ventaja al permitir consultar y enviar información sin la necesidad de que el usuario se encuentre conectado en la misma red local.
- La solución planteada otorgó un nivel de personalización al usuario en el mecanismo de control de los parámetros de pH y ORP, mediante la selección de distintos métodos como el control *On-Off*, control lineal y un controlador PID, brindando alternativas que mejor se ajusten a las necesidades del usuario.
- El empleo de la placa ESP32 permitió la creación de los tres sistemas de control. En el caso del control *On-Off*, este representó una alternativa simple, efectiva y fiable, junto los módulos relé, para la regulación de temperatura y control de llenado automático de la piscina.
- La implementación del control lineal durante el proceso de dosificación de químicos representa una alternativa adecuada en caso de que un cliente posee una piscina de menor tamaño, permitiendo disminuir el riesgo de un excedente en la administración

de químicos mediante la reducción progresiva de velocidad en los motores de las bombas peristálticas.

- El uso de un controlador PID permite un control bastante preciso durante la dosificación química, controlando de gran forma la señal PWM mandada a los motores, aunque resulta más eficiente si se desea un valor de control que no vaya a cambiar con regularidad.
- La relación lograda entre la experiencia ofrecida al usuario y la accesibilidad remota se integran en la aplicación móvil accesible al usuario final, misma que fomenta a la participación del usuario en el mantenimiento de su piscina y por ende la prevención de consecuencias graves en su salud.
- El diseño de este sistema mecatrónico, para monitorear y controlar los parámetros vistos en piscinas recreativas, sirve como indicador de las capacidades de integración entre sensores, actuadores y microcontroladores, que pueden ser extrapoladas a diversos sistemas, obteniendo una eficiencia operativa, para cumplir con un fin, optimizando recursos y reduciendo la intervención humana.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Con el fin de una mejora continua de este trabajo, es recomendable realizar una mejor distribución de los elementos electrónicos presentes dentro de la carcasa protectora. Se busca disminuir tanto el tamaño de la PCB, como el de la misma carcasa, pudiendo representar una reducción en los costos de fabricación, y una ventaja adicional que facilita los procesos de instalación.
- Mejorar el aspecto visual de la aplicación móvil, tal que se reduzca el número de opciones por el que el cliente tenga que navegar para visualizar la información que este desee en el momento.

- Programar funciones de control adicionales en la aplicación móvil tal que se le permita al usuario establecer horarios en donde el sistema empiece el proceso de dosificación química, la toma de datos por los sensores, control de temperatura etc.
- Realizar ajustes de los parámetros del controlador PID según las necesidades del cliente, puesto que, factores como cantidad de agua, tipo de químicos usados, exposición al sol y frecuencia de uso alteran el comportamiento químico de la piscina, resultando en un proceso de dosificación ineficiente por parte de las bombas peristálticas.
- Optimizar el código de la placa ESP32 tal que permita un mejor manejo de los recursos que emplea al momento de enviar y recibir datos en la nube, disminuyendo así el tiempo de respuesta del sistema a la hora de querer trabajar con alguno de los actuadores.
- Aislar los módulos de acondicionamiento de señal de los sensores, con el propósito de mitigar los efectos de ruido e interferencia que estos puedan generar entre sí, evitando la posibilidad de tener una lectura errónea por cualquiera de estos dispositivos.
- Poseer un control periódico para la calibración de los sensores utilizados en el diseño, con el propósito de asegurar su correcto funcionamiento y, en consecuencia, que el sistema presente las lecturas reales de los parámetros de la piscina al usuario.
- Limitar el uso del controlador PID a casos específicos donde el comportamiento dinámico del cambio de pH u ORP no cambie tanto, con el propósito de limitar la necesidad de realizar reajustes tan seguidos de los parámetros  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$ .

## Referencias

- [1] Redacción Piscinas Hoy, «Radiografía del sector de la piscina en España,» 24 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://portalhoy.es/radiografia-del-sector-de-la-piscina-en-espana/#:~:text=En%20el%20mundo%20hay%20aproximadamente,se%20han%20construido%20en%202021..> [Último acceso: 20 Noviembre 2023].
- [2] C. Carballiño, «Comeza a tempada nas piscinas públicas do Carballiño,» 29 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://copecarballino.es/novas/comeza-tempada-nas-piscinas-publicas-do-carballino>. [Último acceso: 19 Noviembre 2023].
- [3] La Prensa Gráfica, «La Prensa Gráfica,» 26 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.laprensagrafica.com/salud/Que-tipo-de-infecciones-podemos-contrair-las-piscinas-compartidas-con-otros-20230726-0011.html>. [Último acceso: 22 Enero 2024].
- [4] El Telégrafo, «El Telégrafo,» 2 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/septimo/1/riesgos-afecciones-piscinas>. [Último acceso: 23 Enero 2024].
- [5] CDC, «Enfermedades transmitidas en aguas recreativas,» 05 Octubre 2021. [En línea]. Available: [https://www.cdc.gov/healthywater/swimming/esp/rwi-esp.html#:~:text=Las%20enfermedades%20reportadas%20con%20mayor,aguda%20\(como%20tos%20o%20congesti%C3%B3n\)](https://www.cdc.gov/healthywater/swimming/esp/rwi-esp.html#:~:text=Las%20enfermedades%20reportadas%20con%20mayor,aguda%20(como%20tos%20o%20congesti%C3%B3n)). [Último acceso: 28 Noviembre 2023].
- [6] Medline Plus, «Diarrea,» 9 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/diarrhea.html>. [Último acceso: 22 12 2023].



- [7] Guia Infantil, «Niños y bebés con escarlatina,» 16 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.guiainfantil.com/salud/enfermedades/escarlatinas.htm>. [Último acceso: 22 Diciembre 2023].
- [8] Mayo Clinic, «Oído de nadador,» 26 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/swimmers-ear/symptoms-causes/syc-20351682>. [Último acceso: 22 12 2023].
- [9] Hola, «Bronquitis, bronquiolitis, neumonías... ¿cómo distinguirlas en los niños?,» 3 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.hola.com/padres/20230503345307/distinguir-infecciones-respiratorias-ninos/>. [Último acceso: 22 Diciembre 2023].
- [10] Oaxaca Digital, «Oaxaca Digital,» 24 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://oaxaca.digital/por-que-se-nos-ponen-los-ojos-rojos-en-la-alberca/>. [Último acceso: 3 Enero 2024].
- [11] MRT-vSPB, «Queratosis,» 12 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://mrt-vspb.ru/keratoz/>. [Último acceso: 22 Diciembre 2023].
- [12] Evasanmartin, «Consecuencias del exceso de cloro en la piscina ¿Qué pasa si te bañas?,» 20 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.consumer.es/bebe/ninos-en-la-piscina-peligros-del-exceso-de-cloro.html>. [Último acceso: 23 Noviembre 2023].
- [13] Amazon.com, «Pool PH Test Kit, Accurate Water Quality Test Box with a Plastic Storage Box for Most People for Swimming Pool,» 27 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/piscina-calidad-almacenamiento-pl%C3%A1stico-personas/dp/B095YKW3NN>. [Último acceso: 25 Noviembre 2023].

- [14] Godopools, «GodoPools,» [En línea]. Available: <https://godopools.com/en/10-advantages-pool-automation/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2023].
- [15] INSA des, «INSA des,» [En línea]. Available: <https://insades.com/limpieza-piscinas/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2023].
- [16] Centers for Disease Control and Prevention, «CDC,» 8 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://www.cdc.gov/healthywater/swimming/swimmers/rwi.html>. [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [17] America's Swimming Pool Company, «ASP,» 1 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.asppoolco.com/blog/2022/august/pool-algae-and-how-to-kill-any-type-and-or-color/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2023].
- [18] Sutro Incorporated, «MySutro,» 12 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://mysutro.com/blogs/water-treatment/the-best-ways-to-raise-or-lower-ph-and-alkalinity-in-pool-or-spa-water>. [Último acceso: 1 Noviembre 2023].
- [19] «How to look at a house,» 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.howtolookatahouse.com/Blog/Entries/2021/4/why-is-my-pool-ladder-rusting.html>. [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [20] Better Health Channel, «BetterHealth,» 29 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.betterhealth.vic.gov.au/health/healthyliving/swimming-pools-water-quality#sources-of-contamination-in-swimming-pools>. [Último acceso: 5 Noviembre 2023].

- [21] The Centers for Disease Control and Prevention, «CDC,» 18 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/67/wr/mm6719a3.htm>. [Último acceso: 2023 Noviembre 6].
- [22] M. J.M., B. D.V., H. G.P. y R. T.D., «IEEE Xplore,» 19 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7819304>. [Último acceso: 6 Noviembre 2023].
- [23] S. Salazar y S. Jordi, «UPCommons,» [En línea]. Available: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08\\_R\\_ES.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08_R_ES.pdf). [Último acceso: 2 Noviembre 2023].
- [24] M. Bhatnagar, N. Rajendran, R. Priyadarshini, A. J. y D. Mavaluru, «Internet of Things (IOT): Systems and Applications,» de *Internet of Things (IOT): Systems and Applications*, NTL Publication, 2023, p. 44.
- [25] Aura Quantic, «AuraQuantic,» [En línea]. Available: <https://www.auraquantic.com/es/tecnologias-industria-inteligente/>. [Último acceso: 30 Octubre 2023].
- [26] Mouser Electronics , «Elektor Magazine,» 14 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.elektormagazine.com/news/development-boards-past-present-and-posterity>. [Último acceso: 23 Noviembre 2023].
- [27] Symmetry Electronics, «Symmetry Electronics,» 28 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://www.symmetryelectronics.com/blog/arduino-development-kits-advantages-and-features/>. [Último acceso: 23 Noviembre 2023].

- [28] Arduino, «Arduino,» [En línea]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>. [Último acceso: 23 Noviembre 2023].
- [29] K. Rose, S. Eldridge y L. Chappin, «La internet de las cosas-Una breve reseña,» de *La internet de las cosas-Una breve reseña*, Internet Society, 2015, p. 20.
- [30] B. O'Flaherty, «iotinsider,» 7 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.iotinsider.com/industries/communications/bidirectional-satellite-iot-service-launches-commercially/>. . [Último acceso: 2 Noviembre 2023].
- [31] Firebase, «Firebase,» [En línea]. Available: <https://firebase.google.com/docs/database?hl=es-419>. [Último acceso: 2 Noviembre 2023].
- [32] J. Sullivan y D. Sullivan, «TechTarget,» 2 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.techtarget.com/iotagenda/feature/How-to-use-Google-Firebase-to-build-real-time-IoT-apps>. [Último acceso: 1 Noviembre 2023].
- [33] «Mantenimiento de tu piscina,» [En línea]. Available: <https://mantenimientodetupiscina.com/partes-de-una-piscina/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2023].
- [34] ComforClima, «ComforClima,» [En línea]. Available: <https://comforclima.es/blog/partes-de-una-piscina/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2023].
- [35] Artic Pool, [En línea]. Available: <https://www.productosparapiscinas.es/calentador-agua-piscina/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2023].

- [36] Premier House, «Premier House,» [En línea]. Available: <https://www.premierhouse.com.au/support-article/swimmax-heat-pump-installation/>. [Último acceso: 10 Noviembre 2023].
- [37] K. Weimert, «Forbes Home,» 16 Junio 2023. [En línea]. Available: [https://www.forbes.com/home-improvement/pool/swimming-pool-heater-installation-cost/#swimming\\_pool\\_heater\\_installation\\_cost\\_by\\_type\\_section](https://www.forbes.com/home-improvement/pool/swimming-pool-heater-installation-cost/#swimming_pool_heater_installation_cost_by_type_section). [Último acceso: 7 Febrero 2024].
- [38] Fluidra, «Fluidra,» 3 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.fluidra.com/projects/es/control-de-temperatura-del-agua/>. [Último acceso: 31 Octubre 2023].
- [39] The Pool Team, «The Pool Team,» [En línea]. Available: <https://thepoolteam.co.za/pool-solutions/total-dissolved-solids>. [Último acceso: 26 Noviembre 2023].
- [40] Riverbend Sandle Pools, [En línea]. Available: <https://www.riverbendsandler.com/help-advice/pools-water-level-important-may-realize/>. [Último acceso: 13 Noviembre 2023].
- [41] L. H. Taylor, «the spruce,» 21 Abril 2023. [En línea]. Available: <https://www.thespruce.com/what-is-a-pool-skimmer-used-for-2736857>. [Último acceso: 7 Febrero 2024].
- [42] Latham, «LathamPool,» 2 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.lathampool.com/blog/maintain/why-is-my-swimming-pool-ph-level-so-important/>. [Último acceso: 31 Octubre 2023].

- [43] Atlas Scientific Corporation, «Atlas-Scientific,» [En línea]. Available: <https://atlas-scientific.com/blog/orp-measurement-for-chlorine/>. [Último acceso: 30 Octubre 2023].
- [44] Davey Water, «Davey Water,» [En línea]. Available: <https://daveywater.com/au/product/chloromatic-lifeguard/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [45] Davey Water, «Davey Water,» [En línea]. Available: [https://daveywater.com/wp-content/uploads/2022/11/Chl\\_ChloroMaticLifeguard\\_IOI.pdf](https://daveywater.com/wp-content/uploads/2022/11/Chl_ChloroMaticLifeguard_IOI.pdf). [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [46] Pentair, «Pentair,» [En línea]. Available: [https://www.pentair.com/en-us/products/business-industry/commercial-pool-products/commercial-pool-automation/intellichem\\_waterchemistrycontroller.html?queryID=a39cb13b74f93a895430a6ce0019885d&objectID=https://www.pentair.com/en-us/products/business-indust](https://www.pentair.com/en-us/products/business-industry/commercial-pool-products/commercial-pool-automation/intellichem_waterchemistrycontroller.html?queryID=a39cb13b74f93a895430a6ce0019885d&objectID=https://www.pentair.com/en-us/products/business-indust). [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [47] Pentair, «Pentair,» [En línea]. Available: <https://www.pentair.com/content/dam/extranet/nam/pentair-pool/commercial/automation/intellichem/intellichem-commercial-brochure.pdf>. [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [48] S. A. C. Giraldo, «Control Automatico Educacion.,» [En línea]. Available: [https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/ziegler-nichols-sintonia-de-control-pid/#Sintonia\\_de\\_Controladores\\_PID\\_usando\\_Ziegler-Nichols](https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/ziegler-nichols-sintonia-de-control-pid/#Sintonia_de_Controladores_PID_usando_Ziegler-Nichols). [Último acceso: 20 Diciembre 2023].

- [49] Electgpl, «BlogSpot,» Enero 2016. [En línea]. Available: <http://electgpl.blogspot.com/2016/01/fuente-step-down-o-buck-con-lm2596.html>. [Último acceso: 27 Noviembre 2023].
- [50] Firebase , «Firebase,» 2024. [En línea]. Available: <https://firebase.google.com/pricing>. [Último acceso: 12 Enero 2024].
- [51] Atlas Scientific, «Atlas Scientific,» [En línea]. Available: <https://atlas-scientific.com/peristaltic/ezo-pmp/>. [Último acceso: 22 Enero 2024].
- [52] Alibaba, «Alibaba,» [En línea]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/LEFOO-12V-24V-DC-wholesale-price\\_1600465302232.html?spm=a2700.details.0.0.15c476cb6x5MMY](https://www.alibaba.com/product-detail/LEFOO-12V-24V-DC-wholesale-price_1600465302232.html?spm=a2700.details.0.0.15c476cb6x5MMY). [Último acceso: 21 Enero 2024].
- [53] Pro Electronics, «Electronics Ecuador,» [En línea]. Available: <https://www.electronicsecuador.com/producto/mini-bomba-de-agua-peristaltica-3-12v/>. [Último acceso: 22 Enero 2024].
- [54] Aliexpress, «Aliexpress,» [En línea]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/1005003589323453.html?spm=a2g0o.productlist.main.3.4865wLzmwLzmjX&algo\\_pvid=06c7a3b3-10ff-4dcf-b46f-3962e25c9958&aem\\_p4p\\_detail=202312231132274412544241958100004404052&algo\\_exp\\_id=06c7a3b3-10ff-4dcf-b46f-3962e25c9958-1&pdp\\_n](https://es.aliexpress.com/item/1005003589323453.html?spm=a2g0o.productlist.main.3.4865wLzmwLzmjX&algo_pvid=06c7a3b3-10ff-4dcf-b46f-3962e25c9958&aem_p4p_detail=202312231132274412544241958100004404052&algo_exp_id=06c7a3b3-10ff-4dcf-b46f-3962e25c9958-1&pdp_n). [Último acceso: 21 Enero 2024].

- [55] Arduino, «Arduino Store,» [En línea]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>. [Último acceso: 19 Enero 2024].
- [56] Arduino, «Arduino Store,» [En línea]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano-every-with-headers?queryID=4e6d023b1a38e646f1a5bc460d23749e&selectedStore=us>. [Último acceso: 19 Enero 2024].
- [57] RaspberryPi, «RaspberryPi,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>. [Último acceso: 17 Enero 2024].
- [58] Raspberry Pi, «Raspberry Pi,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-pico/>. [Último acceso: 18 Enero 2024].
- [59] Amazon, «Amazon,» [En línea]. Available: [https://www.amazon.com/HiLetgo-ESP-WROOM-32-Development-Microcontroller-Integrated/dp/B0718T232Z/ref=sr\\_1\\_8?adgrpid=82658710558&hvadid=673597573848&hvdev=c&hvlocphy=9077244&hvnetw=g&hvqmt=b&hvrnd=412613532778280827&hvtargid=kwd-298031327485&hydadcr=22334](https://www.amazon.com/HiLetgo-ESP-WROOM-32-Development-Microcontroller-Integrated/dp/B0718T232Z/ref=sr_1_8?adgrpid=82658710558&hvadid=673597573848&hvdev=c&hvlocphy=9077244&hvnetw=g&hvqmt=b&hvrnd=412613532778280827&hvtargid=kwd-298031327485&hydadcr=22334). [Último acceso: 10 Enero 2024].
- [60] Make-It.ca, «Make-It.ca,» [En línea]. Available: <https://www.make-it.ca/nodemcu-details-specifications/>. [Último acceso: 11 Enero 2024].



- [61] Pro Electronics, «Electronics Ecuador,» [En línea]. Available: <https://www.electronicsecuador.com/producto/controlador-de-motores-drv8833/>. [Último acceso: 20 Enero 2024].
- [62] Naylamp Mechatronics, «Naylamp Mechatronics,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-1298n.html>. [Último acceso: 20 Enero 2024].
- [63] Pro Electronics, «Electronics Ecuador,» [En línea]. Available: <https://www.electronicsecuador.com/producto/puente-h-19110/>. [Último acceso: 21 Enero 2024].
- [64] Pro Electronics, «Electronics Ecuador,» [En línea]. Available: <https://www.electronicsecuador.com/producto/modulo-easy-driver-a3967/>. [Último acceso: 21 Enero 2024].
- [65] GaoHou, «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/GAOHOU-PH0-14-detecci%C3%B3n-electrodo-Arduino/dp/B0799BXMVJ>. [Último acceso: 2 Noviembre 2023].
- [66] DFRobot, [En línea]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1782.html>. [Último acceso: 9 Noviembre 2023].
- [67] AtlasScientific, «AtlasScientific,» [En línea]. Available: <https://atlas-scientific.com/kits/gravity-analog-ph-kit/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [68] Grove, «SeedStudio,» [En línea]. Available: <https://www.seedstudio.com/Grove-ORP-Sensor-Kit-501Z-p-4575.html>. [Último acceso: 2 Noviembre 2023].

- [69] DFRobot, «DFRobot,» [En línea]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1071.html>. [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [70] Gravity, «AtlasScientific,» [En línea]. Available: <https://atlas-scientific.com/kits/gravity-analog-orp-kit/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2023].
- [71] AtlasScientific, «AtlasScientific,» [En línea]. Available: <https://atlas-scientific.com/kits/gravity-rtd-analog-kit/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2023].
- [72] DFRobot, «DFRobot,» [En línea]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1354.html>. [Último acceso: 5 Noviembre 2023].
- [73] Pro Electronics, «Electronicsecuador,» [En línea]. Available: <https://www.electronicsecuador.com/producto/sensor-de-temperatura-ds18b20-sonda/>. [Último acceso: 1 Noviembre 2023].
- [74] ProElectronics, «Electronicsecuador,» [En línea]. Available: <https://www.electronicsecuador.com/producto/sensor-de-temperatura-lm35-sonda/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [75] DFRobot, [En línea]. Available: [https://www.cqrobot.com/index.php?route=product/product&product\\_id=1122&search=tds&description=true](https://www.cqrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1122&search=tds&description=true). [Último acceso: 12 Noviembre 2023].
- [76] Grove, «SeedStudio,» [En línea]. Available: <https://wiki.seeedstudio.com/Grove-TDS-Sensor/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [77] AtlasScientific, [En línea]. Available: <https://atlas-scientific.com/kits/conductivity-k-1-0-kit/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2023].

- [78] Novatronic, «Novatronicec,» [En línea]. Available: <https://novatronicec.com/index.php/product/sensor-de-nivel-de-agua/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2023].
- [79] DFRobot, «DFRobot,» [En línea]. Available: [https://www.cqrobot.com/index.php?route=product/product&product\\_id=1101&search=water&description=true](https://www.cqrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1101&search=water&description=true). [Último acceso: 15 Noviembre 2023].
- [80] DFRobot, «DFRobot,» [En línea]. Available: [https://wiki.dfrobot.com/Non-contact\\_Liquid\\_Level\\_Sensor\\_XKC-Y25-T12V\\_SKU\\_\\_SEN0204](https://wiki.dfrobot.com/Non-contact_Liquid_Level_Sensor_XKC-Y25-T12V_SKU__SEN0204). [Último acceso: 11 Noviembre 2023].

## **Apéndices**

## **Apéndice A**

### **Código del Arduino Nano**

El siguiente enlace al repositorio de GitHub corresponde al código implementado en la placa de desarrollo Arduino Nano.

**Link de repositorio:** [https://github.com/josdcarr/Codigo-de-Arduino-Nano\\_MI\\_PAOII.git](https://github.com/josdcarr/Codigo-de-Arduino-Nano_MI_PAOII.git)

## Apéndice B

### Código del módulo ESP32

El siguiente enlace al repositorio de GitHub corresponde al código implementado en la placa de desarrollo ESP32.

**Link de repositorio:** [https://github.com/josdcarr/Codigo-de-ESP32\\_MI\\_PAOII.git](https://github.com/josdcarr/Codigo-de-ESP32_MI_PAOII.git)

#### Código de los sistemas de control presentes en el trabajo.

```
//-----Control QUIMICO-----  
-----  
//-----PH/ORP-----  
-----  
  
//-----Control ON OFF  
//EN1 y IN1 para bajar pH  
//EN2 Y IN2 para subir pH y dosificar cloro  
void ControlOnOffPH(int ENA1, int IN1,int ENA2, int IN2, float  
valorSeteo,float valorActual){  
    if( valorActual<(valorSeteo-valorSeteo*0.01)){  
        analogWrite(ENA2, 255);  
        digitalWrite(IN2, HIGH);  
        analogWrite(ENA1, 0);  
        digitalWrite(IN1, LOW);  
        delay(1000);  
    }else if(valorActual> (valorSeteo+valorSeteo*0.01)){  
        analogWrite(ENA2, 0);  
        digitalWrite(IN2, LOW);  
        analogWrite(ENA1, 255);  
        digitalWrite(IN1, HIGH);  
        delay(1000);  
    }else{  
        analogWrite(ENA2, 0);  
        digitalWrite(IN2, LOW);  
        analogWrite(ENA1, 0);  
        digitalWrite(IN1, LOW);  
        delay(1000);  
    }  
}  
  
void ControlOnOffORP(int ENA2, int IN2, float valorSeteo,float valorActual){  
    if( valorActual<(valorSeteo-valorSeteo*0.01)){  
        analogWrite(ENA2, 255);  
        digitalWrite(IN2, HIGH);  
        delay(1000);  
    }  
}
```

```

}else{
    analogWrite(ENA2, 0);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    delay(1000);
}
}
//-----CONTROL PROPORCIONAL
void ControlProporcionalPH(int ENA1, int IN1,int ENA2, int IN2, float
valorSeteo,float valorActual){
    if( valorActual<valorSeteo){//Subir pH
        analogWrite(ENA1, 0);
        digitalWrite(IN1, LOW);
        delay(500);
        float porcentajeSeparacion=((1-valorActual/valorSeteo)*100)/10;
        if(porcentajeSeparacion<1 ){//dentro de zona proporcional
            int senalRedondeada= round(255*porcentajeSeparacion);

            if(senalRedondeada>220){
                analogWrite(ENA2, senalRedondeada);
                digitalWrite(IN2, HIGH);
                delay(1000);
            }else{
                analogWrite(ENA2, 220);
                digitalWrite(IN2, HIGH);
                delay(1000);
            }
        }else if(valorActual>=valorSeteo){//Se llego al valor deseado
            analogWrite(ENA2, 0);
            digitalWrite(IN2, LOW);
            delay(1000);
        }else {//Por fuera de la zona proporcional
            analogWrite(ENA2, 255);
            digitalWrite(IN2, HIGH);
            delay(1000);
        }
    }
}
if( valorActual>valorSeteo){//Bajar pH
    analogWrite(ENA2, 0);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    float porcentajeSeparacion=((valorActual/valorSeteo-1)*100)/10;
    if(porcentajeSeparacion<1 ){//dentro de zona proporcional
        int senalRedondeada= round(255*porcentajeSeparacion);
        if(senalRedondeada>220){
            analogWrite(ENA1, senalRedondeada);
            digitalWrite(IN1, HIGH);
            delay(1000);
        }else{

```





```

float eintegral_pH = 0;
void ControlpHPID(int ENA1, int IN1,int ENA2, int IN2,float setPoint,float
valorReal){//Pines de control ENA e IN, valor deseado y valor actual
    float kp = 0.1116; //Segun el sistema a controlar
    float kd = 0.837;
    float ki = 0.00372;
    // diferencial de tiempo
    long T_actual = micros();
    float T_delta = ((float) (T_actual - T_previo_pH))/( 1.0e6 );
    T_previo_pH = T_actual;
    // error
    float error =valorReal-setPoint;
    // Derivativo
    float dedt = (error-error_Previo_pH)/(T_delta);
    // Integral
    eintegral_pH = eintegral_pH + error*T_delta;
    // Ecuacion ziegler nichols
    float u = kp*error + kd*dedt + ki*eintegral_pH;
    // Señal PWM
    float pwr = fabs(u);
    if( pwr > 255 ){
        pwr = 255;
    }
    if( pwr < 220 ){
        pwr = 220;
    }
    if(u<0){//SUBIR PH
        analogWrite(ENA2, pwr);
        digitalWrite(IN2, HIGH);
        analogWrite(ENA1, 0);
        digitalWrite(IN1, LOW);
        delay(1000);
    }else{//BAJAR PH
        analogWrite(ENA2, 0);
        digitalWrite(IN2, LOW);
        analogWrite(ENA1, pwr);
        digitalWrite(IN1, HIGH);
        delay(1000);
    }
    error_Previo_pH = error;
}
long T_previo_ORP = 0;
float error_Previo_ORP = 0;
float eintegral_ORP = 0;
void ControlORPPID(int ENA2, int IN2,float setPoint,float valorReal){//Pines
de control ENA e IN, valor deseado y valor actual
    float error_Previo_ORP = 0;
    float kp = 0.0018; //Segun el sistema a controlar

```

```

float kd = 0.0144;
float ki = 0.00005625;
// diferencial de tiempo
long T_actual = micros();
float T_delta = ((float) (T_actual - T_previo_ORP))/( 1.0e6 );
long T_previo_ORP = T_actual;
// error
float error =valorReal-setPoint;
// Derivativo
float dedt = (error-error_Previo_ORP)/(T_delta);
// Integral
float eintegral_ORP = eintegral_ORP + error*T_delta;

// Ecuacion ziegler nichols
float u = kp*error + kd*dedt + ki*eintegral_ORP;
// Señal PWM
float pwr = fabs(u);
if( pwr > 255 ){
    pwr = 255;
}
if( pwr < 220 ){
    pwr = 220;
}
if(u<0){//SUBIR ORP
    analogWrite(ENA2, pwr);
    digitalWrite(IN2, HIGH);
    delay(1000);
}else{//BAJAR ORP
    analogWrite(ENA2, 0);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    delay(1000);
}
    error_Previo_ORP = error;
}
// CONTROL GENERAL PH
void ControlpHGeneral(int ENA1, int IN1,int ENA2, int IN2,float setPoint,float
valorReal, int tipoControl,bool autorizacion,bool autorizacion_2){//tipo de
control: ON OFF(0), PROPORCIONAL(1) O PID (2),

    if(!autorizacion_2){

        if(autorizacion){
            if( tipoControl==0){
                ControlOnOffPH(ENA1,IN1,ENA2,IN2,setPoint,valorReal);
            }else if(tipoControl==1){
                ControlProporcionalPH(ENA1,IN1,ENA2,IN2,setPoint,valorReal);
            }else if(tipoControl==2){
                ControlpHPID(ENA1,IN1,ENA2,IN2,setPoint,valorReal);
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    }else if(autorizacion==false){
        analogWrite(ENA1, 0);
        digitalWrite(IN1, LOW);
        Serial.println("Sin autorizacion");
    }
}
}
// CONTROL GENERAL ORP
void ControlORPGeneral(int ENA2, int IN2,
float setPoint,
float valorReal,
int tipoControl,
bool autorizacion,
bool autorizacion_2){//tipo de control: ON OFF(1), PROPORCIONAL(2) O PID (3),
    if(!autorizacion_2){
        if(autorizacion){
            if( tipoControl==0){
                ControlOnOffORP(ENA2,IN2,setPoint,valorReal);
                delay(1000);
            }else if(tipoControl==1){
                ControlProporcionalORP(ENA2,IN2,setPoint,valorReal);
                delay(1000);
            }else if(tipoControl==2){
                ControlORPPID(ENA2,IN2,setPoint,valorReal);
                delay(1000);
            }
        }else if(autorizacion==false){
            analogWrite(ENA2, 0);
            digitalWrite(IN2, LOW);
            Serial.println("Sin autorizacion");
        }
    }
}
}

```

## Apéndice C

### Código de la interfaz gráfica

El siguiente enlace al repositorio de GitHub corresponde al código implementado para la creación de la aplicación móvil.

**Link de repositorio:** <https://github.com/josdcarr/Codigo-de-Interfaz-App-Movil.git>

## Apéndice D

### Ecuaciones para el control proporcional y PID

Durante los procesos de experimentación se descubrió que la señal PWM mínima en la que los motores pueden funcionar para realizar la dosificación de líquidos es 220, por lo que se definió este control en base a las **ecuaciones (D.1) y (D.2)**, que poseen pequeñas variaciones dependiendo si el valor de control va en aumento o en descenso.

#### Acercamiento al valor deseado de izquierda a derecha

$$\text{PWM} \begin{cases} 255 & \text{si } VR \leq VD - VD * ZP \\ 220 + 35 * \frac{\left(1 - \frac{VR}{VD}\right)}{ZP} & \text{si } VD - VD * ZP < VR < VD \\ 0 & \text{si } VR \geq VD \end{cases}$$

#### Acercamiento al valor deseado de derecha a izquierda

$$\text{PWM} \begin{cases} 255 & \text{si } VR \geq VD + VD * ZP \\ 220 + 35 * \frac{\left(\frac{VR}{VD} - 1\right)}{ZP} & \text{si } VD < VR < VD + VD * ZP \\ 0 & \text{si } VR \leq VD \end{cases}$$

Donde  $VD$  es el valor deseado,  $VR$  es el valor real y  $ZP$  es el porcentaje de zona proporcional.

#### Obtención de valores experimentales para el controlador PID

Las representaciones mostradas de los comportamientos en el cambio de pH y ORP en el agua se realizaron en base a las siguientes condiciones de trabajo.

### Cambio de pH en el tiempo

- **Cantidad de agua con la que se trabajó:** 2 litros
- **Aumentador de pH usado:** 10 gramos de bicarbonato de sodio en 200 ml de agua
- **Temperatura de trabajo:** 24 °C
- **Cambio deseado:** Aumentar el valor de pH de 7,6 a 8,6

### Cambio de ORP en el tiempo

- **Cantidad de agua con la que se trabajó:** 2 litros
- **Método de saneamiento:** 10 ml de cloro disuelto en 200 ml de agua
- **Temperatura de trabajo:** 24 °C
- **Cambio deseado:** Alcanzar el máximo valor posible de ORP en la muestra de agua

### Valores experimentales medidos

**Tabla D. 1**

*Mediciones experimentales del cambio de pH y ORP*

Tiempo(seg)	Nivel de pH	Nivel de ORP
0	7,6	436
1	7,6	435
2	7,5	436
3	7,7	436
4	7,6	436
5	7,6	436
6	7,6	435
7	7,7	435
8	7,4	435
9	7,6	435
10	7,4	435
11	7,6	435
12	7,5	434
13	7,7	435
14	7,7	435

15	7,5	435
16	7,6	434
17	7,6	435
18	7,6	435
19	7,7	435
20	7,7	441
21	7,8	468
22	8,0	487
23	8,1	501
24	8,2	517
25	8,0	527
26	8,2	533
27	8,3	535
28	8,1	538
29	8,3	541
30	8,4	545
31	8,2	548
32	8,4	551
33	8,2	553
34	8,3	555
35	8,4	559
36	8,3	560
37	8,3	563
38	8,4	564
39	8,3	565
40	8,3	567
41	8,4	568
42	8,4	568
43	8,3	570
44	8,3	570
45	8,4	572
46	8,3	572
47	8,3	570
48	8,6	573
49	8,4	572
50	8,4	574
51	8,4	574
52	8,4	576
53	8,4	576
54	8,3	577

55	8,3	577
56	8,4	578
57	8,3	577
58	8,3	577
59	8,4	575
60	8,3	576
61	8,3	578
62	8,4	579
63	8,4	579
64	8,4	579
65	8,3	579
66	8,3	579
67	8,3	580
68	8,3	578
69	8,4	577
70	8,4	576
71	8,4	579
72	8,3	577
73	8,4	579
74	8,3	579
75	8,4	579
76	8,3	579
77	8,3	578
78	8,4	579
79	8,2	579
80	8,3	579
81	8,3	579
82	8,3	579
83	8,4	579
84	8,4	578
85	8,4	571
86	8,3	578
87	8,4	580
88	8,3	580
89	8,4	581
90	8,2	581
91	8,4	581
92	8,4	581
93	8,4	582
94	8,5	582



95	8,4	583
96	8,4	583
97	8,5	578
98	8,4	575
99	8,4	579
100	8,5	579
101	8,4	580
102	8,3	580
103	8,6	582
104	8,4	581
105	8,4	580
106	8,5	582
107	8,6	581
108	8,6	582
109	8,6	582
110	8,5	582
111	8,5	583
112	8,5	582
113	8,4	582
114	8,4	583
115	8,5	582
116	8,5	582
117	8,5	582
118	8,6	582
119	8,4	583
120	8,6	582
121	8,4	583
122	8,5	583
123	8,5	583
124	8,5	584
125	8,4	584
126	8,5	583
127	8,5	582
128	8,5	583
129	8,5	583
130	8,4	583
131	8,4	583
132	8,5	583
133	8,5	583
134	8,6	581

135	8,4	582
136	8,5	581
137	8,5	581
138	8,6	581
139	8,4	580
140	8,4	580
141	8,6	578
142	8,4	579
143	8,4	579
144	8,5	580
145	8,4	578
146	8,5	580
147	8,5	578
148	8,5	577
149	8,4	579
150	8,5	577
151	8,6	579
152	8,3	578
153	8,5	578
154	8,5	578
155	8,5	579
156	8,5	580
157	8,5	579
158	8,4	578
159	8,4	577
160	8,6	578
161	8,5	577
162	8,5	577
163	8,5	577
164	8,5	577
165	8,5	578
166	8,4	577
167	8,4	577
168	8,6	578
169	8,4	578
170	8,6	578
171	8,4	578
172	8,6	578
173	8,4	578
174	8,6	578

175	8,6	577
176	8,6	578
177	8,4	577
178	8,5	578
179	8,4	578
180	8,4	579
181	8,5	578
182	8,4	578
183	8,5	580
184	8,5	581
185	8,4	578
186	8,6	581
187	8,4	580
188	8,5	579
189	8,5	578
190	8,5	578
191	8,6	579
192	8,6	579
193	8,4	580
194	8,5	579
195	8,5	579
196	8,5	579
197	8,5	579
198	8,4	579
199	8,6	579
200	8,5	580
201	8,4	580
202	8,5	581
203	8,5	581
204	8,5	583
205	8,4	582
206	8,5	583
207	8,5	582
208	8,5	582
209	8,5	582
210	8,5	582
211	8,5	583
212	8,5	582
213	8,6	583
214	8,5	583

215	8,5	584
216	8,4	583
217	8,5	583
218	8,5	582
219	8,4	582
220	8,5	581
221	8,5	574
222	8,5	577
223	8,5	580
224	8,4	581
225	8,4	581
226	8,5	583
227	8,4	583
228	8,5	581
229	8,5	581
230	8,5	581
231	8,5	581
232	8,4	581
233	8,6	581
234	8,5	581
235	8,5	582
236	8,4	581
237	8,5	582
238	8,6	581
239	8,5	581
240	8,5	582
241	8,4	582
242	8,6	582
243	8,6	583
244	8,5	582
245	8,4	582

### Ecuaciones para generar el controlador PID

Debido a que se obtuvo un sistema en forma de S con retardo, se utilizó el método de Ziegler-Nichols de lazo abierto, que define la función de transferencia de un sistema de primer orden con retardo, como se muestra en la **ecuación (D.3)**:

$$G_p(s) = \frac{K * e^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad (\mathbf{D.3})$$

Donde K es el valor de control deseado, L corresponde al tiempo de retardo del sistema y  $\tau$  es la constante de tiempo. Estos valores se obtienen en base al comportamiento presentado en el sistema, y ayuda a definir los parámetros de control  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  presentes en la señal de salida del controlador PID.

Las fórmulas para definir estos valores están presentes en las ecuaciones **(D.4)**, **(D.5)** y **(D.6)**.

$$K_p = 1.2 * \left(\frac{\tau}{KL}\right) \quad (\mathbf{D.4})$$

$$K_i = \frac{Kp}{2L} \quad (\mathbf{D.5})$$

$$K_d = Kp * 0.5 * L \quad (\mathbf{D.6})$$

La señal final del controlador PID en términos de ganancia se expresa en la **ecuación (D.7)**.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d * s \quad (\mathbf{D.7})$$




## Apéndice E

### Selección de bomba peristáltica

En la **Tabla E.1** se muestra una comparativa de los aspectos técnicos de las opciones disponibles en el mercado, con el fin de seleccionar la más apropiada para la solución.

**Tabla E. 1**

*Bombas peristálticas disponibles en el mercado*

Nombre	Figura	Voltaje de operación	Corriente de consumo	Caudal	Precio (\$)
EZO-PMP™ <i>Embedded Dosing Pump</i> [51]		12V – 24V (Posee un controlador integrado con voltaje de operación de 3.3V – 5V)	200mA-400mA El controlador consume entre 12.2mA-13.4mA	0.5ml/min - 105ml/min	84.99
LEFOO <i>Dosing Pump</i> LFP302/ST [52]		24V	500 mA	1ml/min - 480ml/min	34.90
Mini bomba de agua peristáltica 3/12v genérica [53]		12V	250 mA	70ml/min - 150ml/min	12.00

---

Kamoer NKP-bomba  
peristáltica [54]



12V

200 mA

47ml/min

-

13.40

60ml/min

---


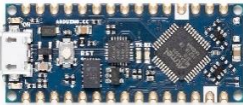
## Apéndice F

### Selección de placa de desarrollo programable y módulo Wifi



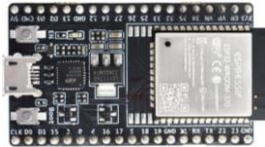

La **Tabla F.1** muestra las múltiples opciones de controladores capaces de implementarse en la solución. En base a sus características se seleccionó el módulo más adecuado.

**Tabla F. 1**

*Placas programables disponibles en el mercado*

<b>Nombre</b>	<b>Figura</b>	<b>Almacenamiento</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente de consumo</b>	<b>Pines disponibles</b>	<b>Precio (\$)</b>
Arduino UNO R3 [55]		Memoria flash:32 KB Memoria SRAM: 2 KB	6V-20V	20 mA por cada pin I/O,	14 pines digitales, 6 pines analógicos	27.60
Arduino Nano [56]		Memoria flash:32 KB Memoria SRAM: 2 KB	7V-12V	20 mA por cada pin I/O,	22 pines digitales, 8 pines analógicos	24.90



Raspberry Pi 4, modelo B [57]		Memoria flash: Según la memoria SD  Memoria RAM: 1GB-8GB	5V	16mA por pin GPIO A	40 pines, 26 pines tipo GPIO	35.00
Raspberry Pi pico [58]		Memoria flash: 2 KB  Memoria RAM: 264 KB	1.8V - 5.5V	16mA por pin GPIO	40 pines, 26 pines tipo GPIO	4.00
ESP32 [59]		Memoria flash: 4 MB-16 MB  Memoria SRAM: 520 KB	5V - 12V	12mA por pin	30 pines, 25 tipo GPIO	10.00
NodeMCU [60]		Memoria flash: 4 MB  Memoria SRAM: 80 KB	5V - 12V	12mA por pin	30 pines, 13 tipo GPIO, 1 analógico	10.00




## Apéndice G

### Selección del controlador de motores


La **Tabla G.1** muestra las múltiples opciones de puentes H disponibles en el mercado. En base a sus características se seleccionó el módulo más adecuado.

**Tabla G. 1**

*Puentes H disponibles*

Nombre	Figura	Voltaje	Máxima corriente que soporta	Tamaño	Precio (\$)
Controlador de motores DRV8833 [61]		2.7 V -10.8 V	1.5 A-4 A	18.5 mm X 16 mm	4.00
Controlador de motores L298n [62]		5 V -35 V	2A - 4A	43 mm X 43 mm X 27 mm	3.50
Puente H L9110 [63]		2.5 V -12 V	1.5 A	31 mm X 22 mm X 12 mm	4.00

---

Módulo <i>Easy</i> <i>Driver A3967</i> [64]		6 V -30 V	150 mA - 750 mA	50 mm X 20 mm X 5 mm	3.50
---	---	-----------	-----------------	-------------------------	------

---




## Apéndice H

### Selección de sensores




A continuación, se muestra las **Tabla H.1, Tabla H.2, Tabla H.3, Tabla H.4 y Tabla H.5**, las cuales muestran las características técnicas más relevantes de los sensores disponibles en el mercado a utilizar en la solución.

**Tabla H. 1**





*Características técnicas de los sensores de pH*

	<b>Probeta pH + módulo de acondicionamiento GaoHou [65]</b>	<b>Probeta pH + módulo de acondicionamiento DFRobot [66]</b>	<b>Probeta pH + módulo de acondicionamiento Gravity [67]</b>
Figura			
Voltaje	3.3V-5.5V	3.3V-5.5V	3.3V-5.5V
Corriente	5 mA-10mA	No especifica	3 mA
Rango	0-14 pH	0-14 pH	2-13 pH
Temperatura de funcionamiento:	0-80°C	5-60°C	1-60°C
Precisión	± 0.2pH	± 0.1pH	± 0.1pH
Precio (\$)	22,35	39,50	69,99




**Tabla H. 2***Características técnicas de los sensores de ORP*

	<b>Probeta ORP + módulo de acondicionamiento Grove [68]</b>	<b>Probeta ORP + módulo de acondicionamiento DFRobot [69]</b>	<b>Probeta ORP + módulo de acondicionamiento Gravity [70]</b>
Figura			
Voltaje	3.3V-5.5V	5V	3.3V-5.5V
Corriente	5 mA-10mA	No especifica	3 mA
Rango	-2000mV~2000mV	-2000mV-2000mV	-1100mV – 1100mV
Temperatura de funcionamiento:	5°C-70°C	5°C-70°C	1-60°C
Precisión	±8mv	±10mv	±1.1mv
Precio (\$)	35,83	89,00	76,99




**Tabla H. 3***Características técnicas de los sensores de temperatura*

	<b>Sensor de temperatura PT100 Gravity [71]</b>	<b>Sensor de temperatura DS18B20 DFRobot [72]</b>	<b>Sensor de temperatura DS18B20 [73]</b>	<b>Sensor de temperatura lm35 [74]</b>
<b>Figura</b>				
<b>Voltaje</b>	3.3V-5.5V	3.3V-5.5V	3V-5.5V	3V-5V
<b>Corriente</b>	0.9 mA	3 $\mu$ A	3 $\mu$ A	60 $\mu$ A
<b>Rango</b>	-50°C-200°C	-50°C-125°C	-55°C-125°C	-50°C-125°C
<b>Precisión</b>	$\pm(0.3+(0.005*T))$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.6^{\circ}\text{C}$
<b>Precio(\$)</b>	29,99	7,50	3,99	4,99

**Tabla H. 4***Características técnicas de los sensores de TDS y conductividad*

	<b>Sensor TDS + módulo de acondicionamiento CQRobot [75]</b>	<b>Sensor TDS + módulo de acondicionamiento Grove [76]</b>	<b>Sensor de conductividad AtlasScientific [77]</b>
Figura			
Voltaje	3.3V-5.5V	3.3V-5V	3V-5V
Corriente	3mA - 6mA	3mA - 6mA	22mA - 28mA
Rango	0-1000 ppm	0-1000 ppm	5-200000 $\mu$ S/cm
Precisión	$\pm$ 10%	No especifica	$\pm$ 2%
Precio(\$)	7,99	14,30	229,99

**Tabla H. 5***Características técnicas de los sensores de nivel de agua*

	<b>Sensor de nivel de agua genérico [78]</b>	<b>Sensor de agua fotoeléctrico CQRobot [79]</b>	<b>Sensor de agua sin contacto DFRobot [80]</b>
Figura			
Voltaje	3V-5V	5V	5V-24V
Corriente	20 mA	12 mA	5 mA
Temperatura de funcionamiento:	10-30°C	-25-105°C	0-105°C
Precio (\$)	3,50	13,99	11,90



## Apéndice I

### Pruebas de funcionamiento

Las siguientes imágenes corresponden a pruebas de funcionamiento del prototipo de la solución.

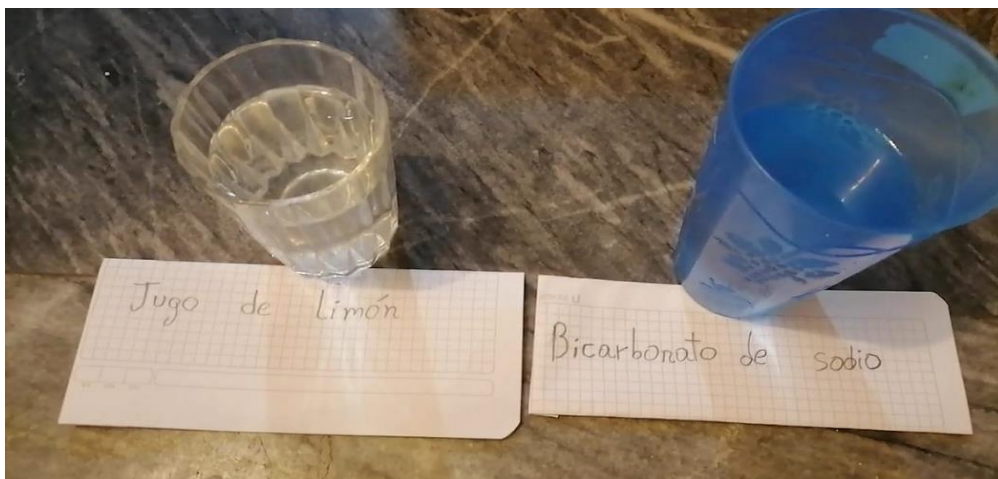
**Figura I. 1**

*Activación del relé de la bomba de agua (se utilizó una bombilla como remplazo)*



**Figura I. 2**

*Muestras para las lecturas de pH*



**Figura I. 3**

*Medición de pH en agua con jugo de limón*



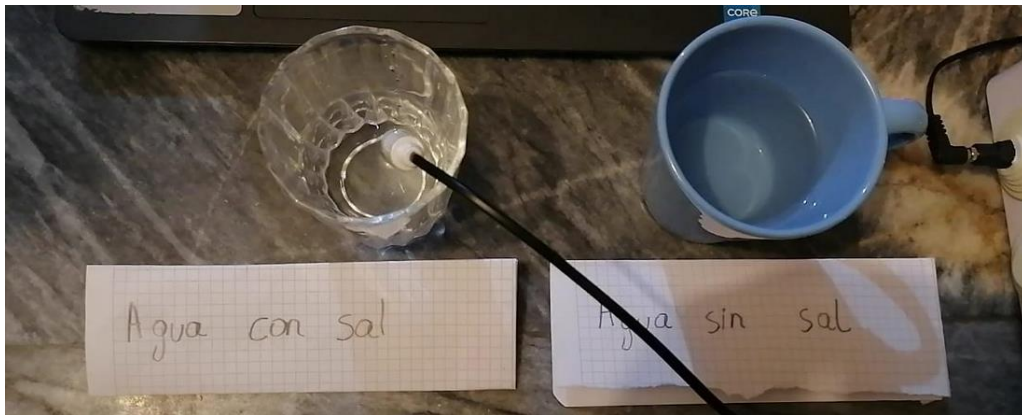
**Figura I. 4**

*Medición de pH en agua con bicarbonato de sodio*



**Figura I. 5**

*Muestras para las lecturas de sólidos disueltos*



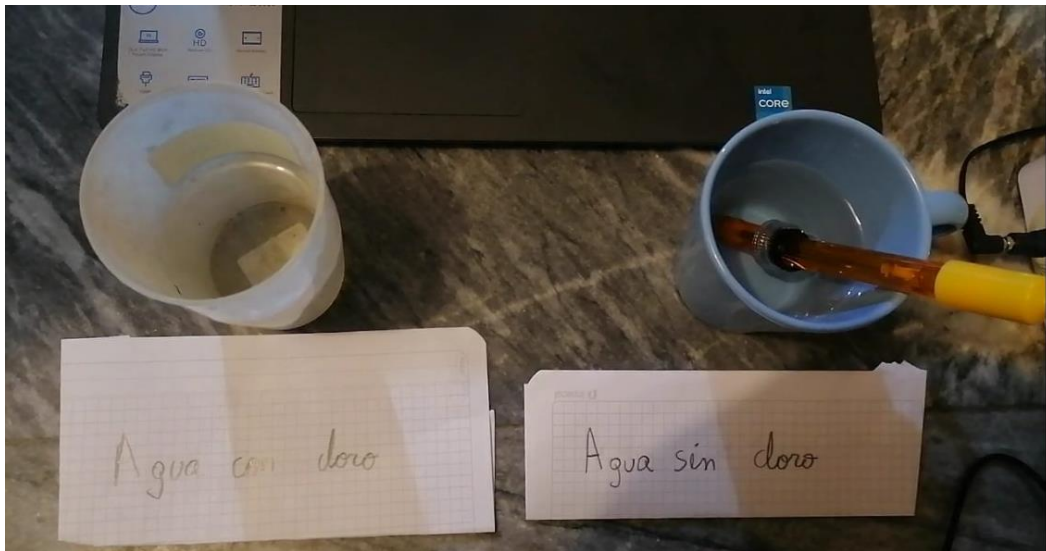
**Figura I. 6**

*Medición de sólidos disueltos en agua con sal*



**Figura I. 7**

*Muestras para las lecturas del sensor ORP*



**Figura I. 8**

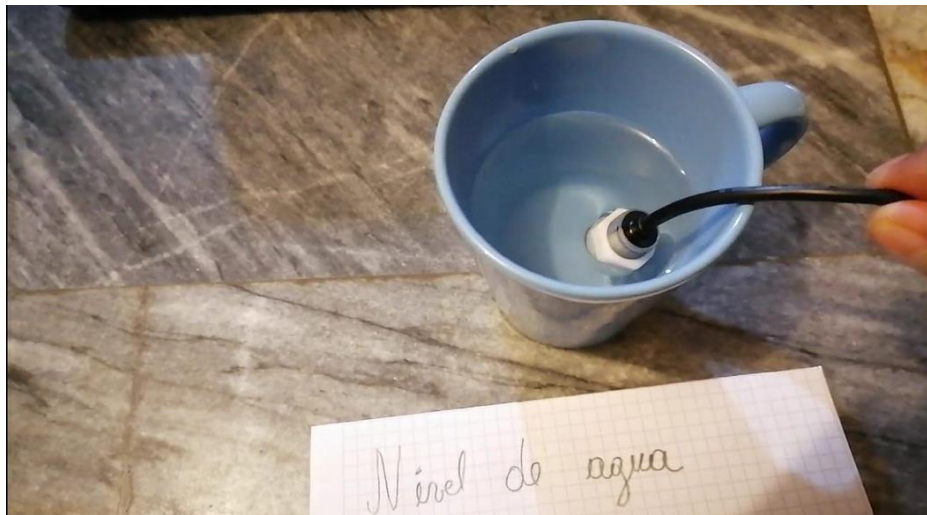
*Medición del sensor ORP en el agua con cloro*





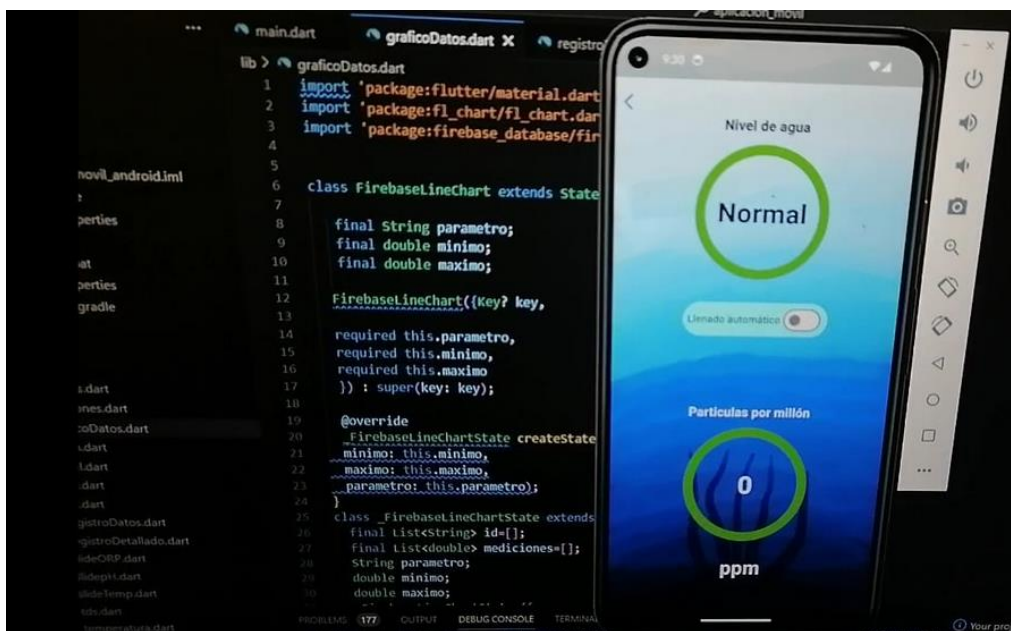
**Figura I. 9**

*Lectura con el sensor de nivel*



**Figura I. 10**

*Medición del sensor de nivel*



**Figura I. 11**

*Simulación de la aplicación en un dispositivo móvil*



Adicionalmente, se adjunta un video de prueba del funcionamiento de la aplicación.

**Link del video:** <https://youtu.be/7P3dZCQkBNs>

## Apéndice J

### Especificaciones del diseño informático.

#### Ramas principales de la base de datos

La base de datos usada en el proyecto contiene tres ramas principales donde se almacena la información más relevante del sistema. La rama de “Valores Actuales” posee cinco sub ramas, donde cada una corresponde a los valores actuales de los sensores utilizados (temperatura, ORP, pH, nivel de agua y TDS). Estas ramas no guardan ningún registro, en cambio, se va actualizando conforme el módulo ESP32 envía nuevas mediciones hechas por los sensores.

La sub rama de nivel de agua contienen valores booleanos, donde *false* indica que el nivel de agua de la piscina está por debajo del nivel deseado, y *true* que el nivel de agua es el apropiado. Las otras sub ramas guardan valores numéricos.

La rama de “Valores de control” guarda la información establecida por el usuario para los procesos de control. Las sub ramas de “Control automático” sirven como método de autorización para indicar que se puede empezar a controlar el calefón, dosificación química, activación de bomba de agua o el llenado automático de la piscina. Estas están definidas por valores booleanos.

Las opciones de pH, ORP y temperatura almacena los valores de control establecidos por el usuario mediante el controlador deslizante presente en cada una de las pantallas de estos parámetros.

La sub rama “Control” también está definida por datos numéricos, e indica si el control seleccionado para la dosificación química en el control de pH y ORP es *On-Off* (0), proporcional (1) o PID (2).

La rama “Valores medidos” guarda un registro de las mediciones hechas por los cinco sensores, la fecha y hora en la que fueron tomados los datos.

### Pantallas de la aplicación móvil

La **Figura J.1** corresponde a la pantalla principal de la aplicación, aquí el usuario podrá seleccionar la opción de los parámetros que desea visualizar, así como tener la opción de controlar la activación de la bomba de agua de la piscina, ya que el sistema no empezará a tomar las medidas si detecta que está desactivada.

**Figura J. 1**

*Pantalla de inicio*





Las imágenes de la **Figura J.2**, **Figura J.3**, **Figura J.4** y **Figura J.5** muestran los cinco parámetros de físicos correspondientes a la temperatura, ORP, pH, nivel de agua y sólidos disueltos. En la parte superior se cuenta con un indicador de forma circular que muestra al usuario los valores en tiempo real que detectan los sensores. Dependiendo de si se encuentran en medidas recomendadas, el color cambiará entre verde o rojo.

En la sección intermedia se cuenta con un interruptor, que sirve como medida de autorización por parte del usuario para empezar el proceso de control del parámetro indicado en la pantalla. Debajo de este hay una barra de control deslizante y un botón donde se podrá definir y actualizar el valor de control deseado. Este valor no podrá ser actualizado en caso de que el usuario no haya dado la autorización para empezar el proceso de control.

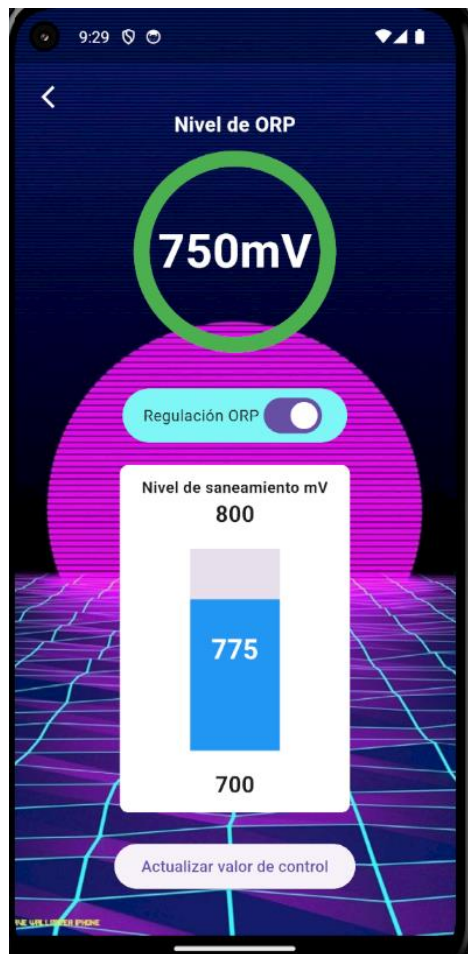
**Figura J. 2**

*Pantalla de control de temperatura*



**Figura J. 3**

*Pantalla de control de nivel de ORP*



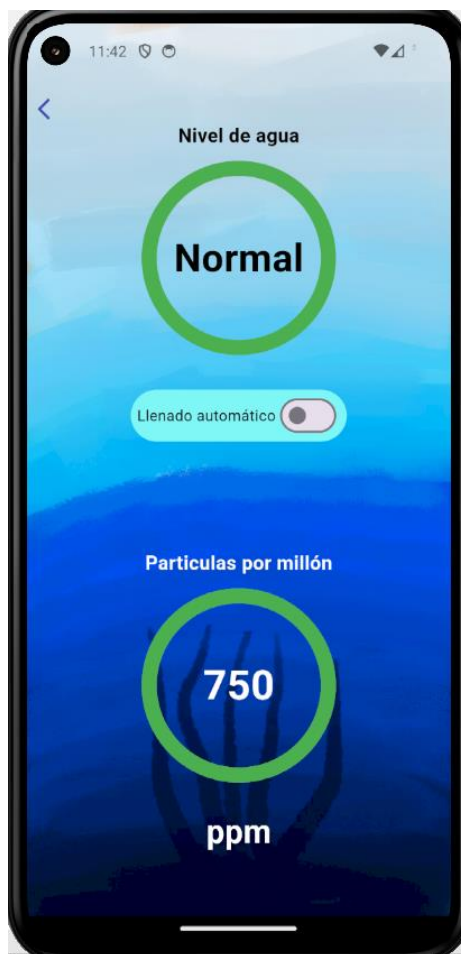
**Figura J. 4**

*Pantalla de control de nivel de pH*



**Figura J. 5**

*Pantalla de control de nivel de agua y visualización de sólidos disueltos*



La **Figura J.6** enseña la opción de ajustes de la aplicación, en esta se puede definir ciertos aspectos de control, como la elección de control para el control de pH y ORP, donde se puede elegir entre un control *On-Off*, proporcional o utilizar el controlador PID.

**Figura J. 6**

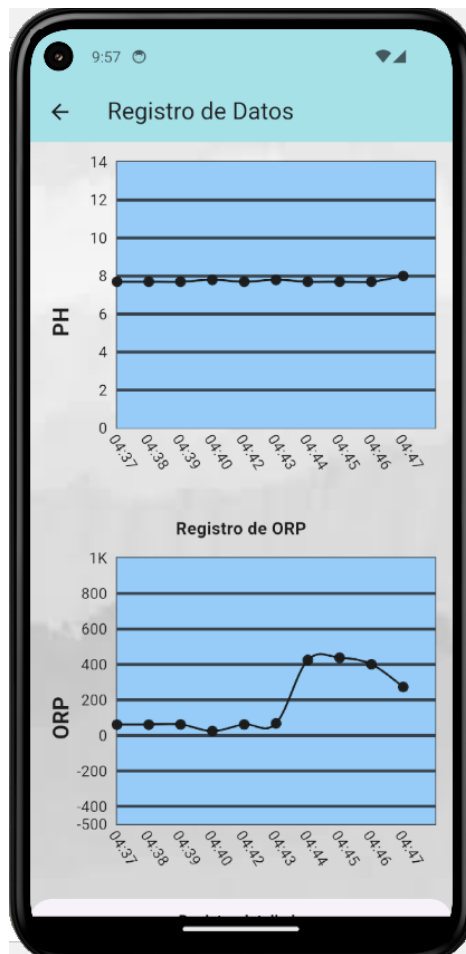
*Pantalla de ajustes*



La **Figura J.7** corresponde a los registros dados por los sensores. Aquí se puede ver una visualización general de las últimas 10 mediciones en un gráfico lineal. En la sección final existe una opción para ver un registro más detallado, de las últimas 50 mediciones tomadas, tal como se observa en la **Figura J.8**

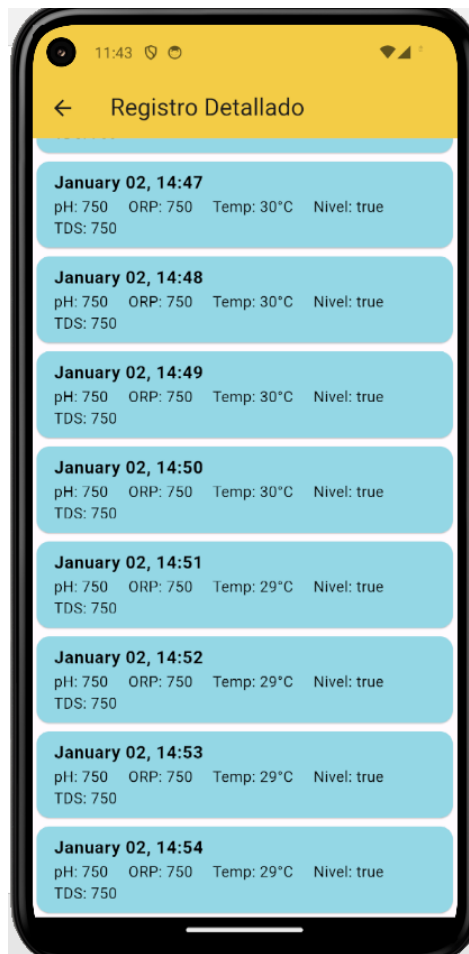
**Figura J. 7**

*Registro de datos general*



## Figura J. 8

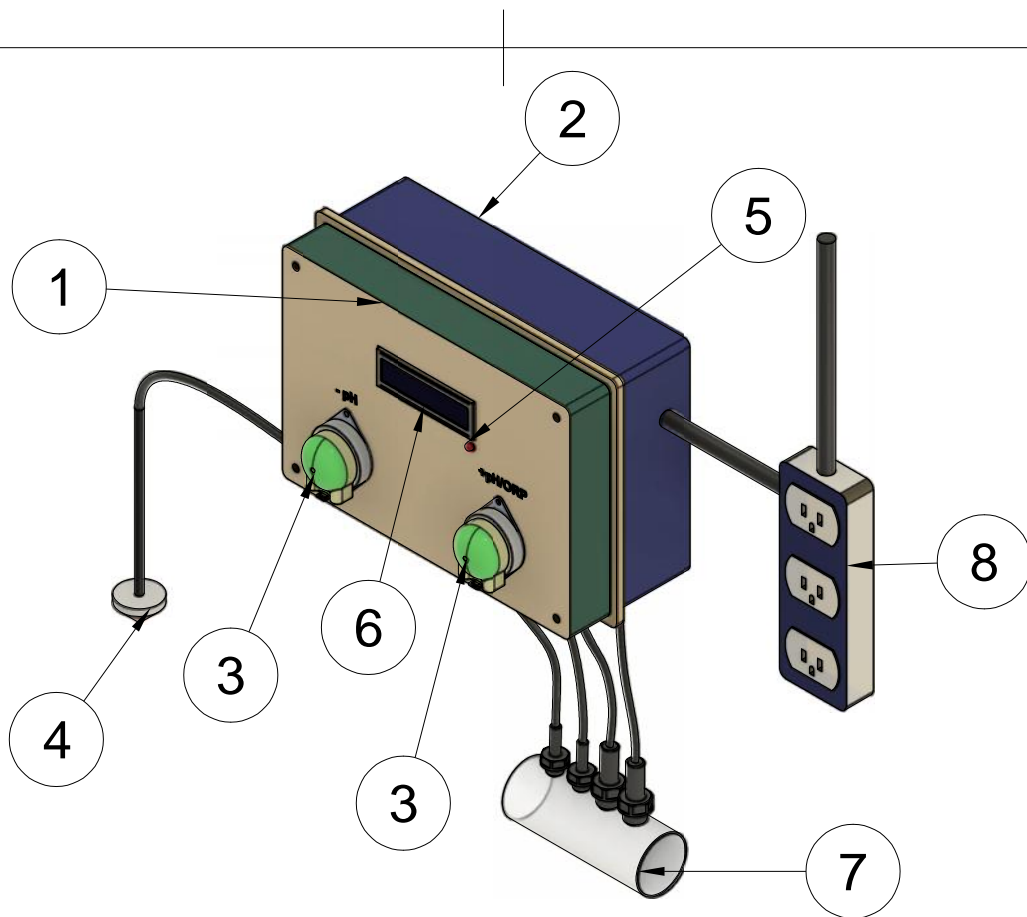
*Registro de datos detallado*



## **Apéndice K**

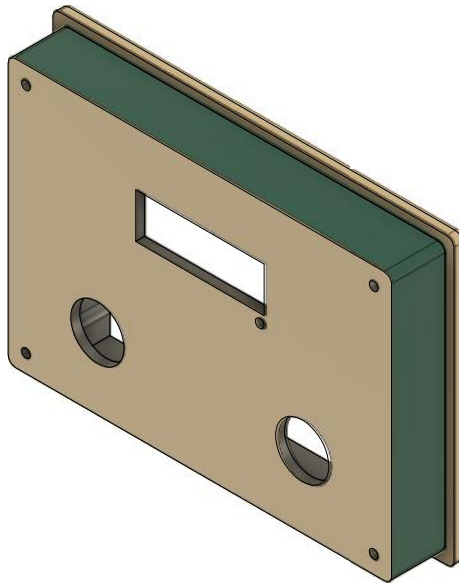
### **Plano de los elementos mecánicos del sistema**



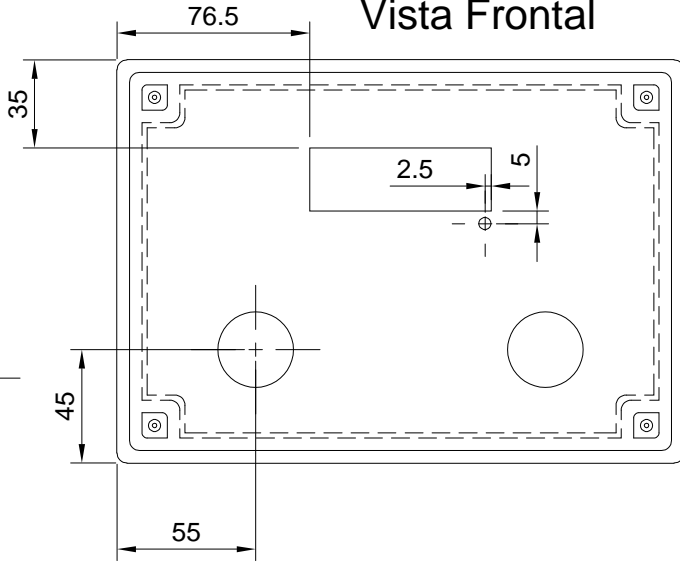


### LISTA DE PIEZAS

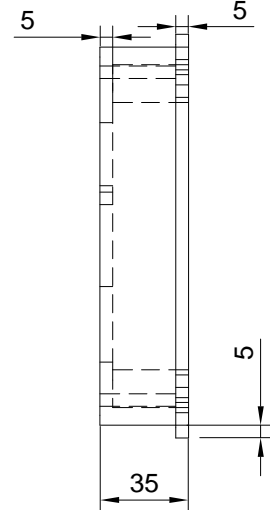
NÚMERO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Tapa de la carcasa protectora
2	1	Carcasa protectora
3	2	Bombas dosificadoras
4	1	Sensor de nivel de agua
5	1	Foco LED
6	1	Pantalla LCD
7	1	Módulo de acople de los sensores (temperatura, TDS, ph y ORP)
8	1	Regleta de enchufes



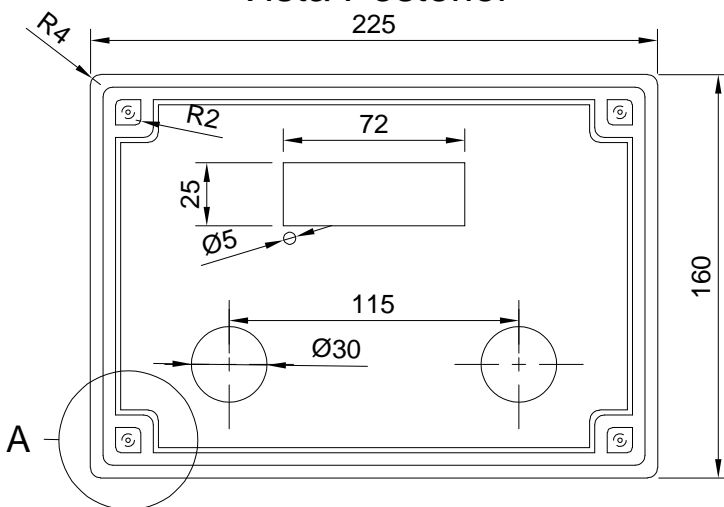
Vista Frontal



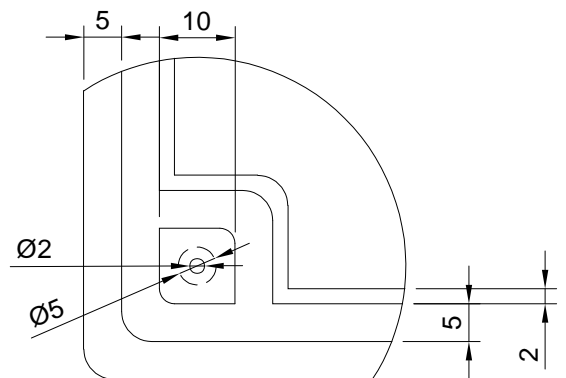
Vista Lateral Derecha

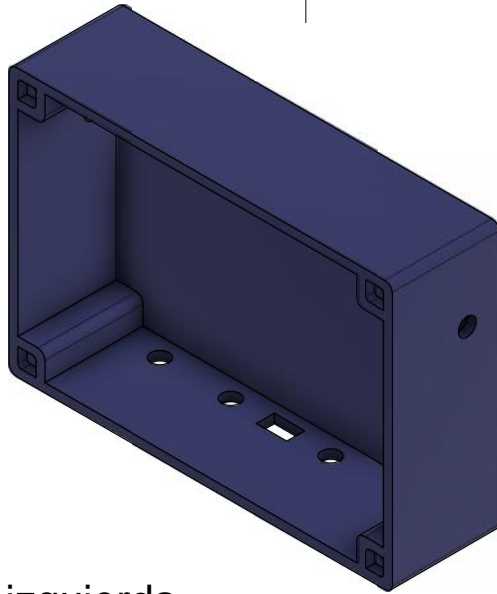


Vista Posterior

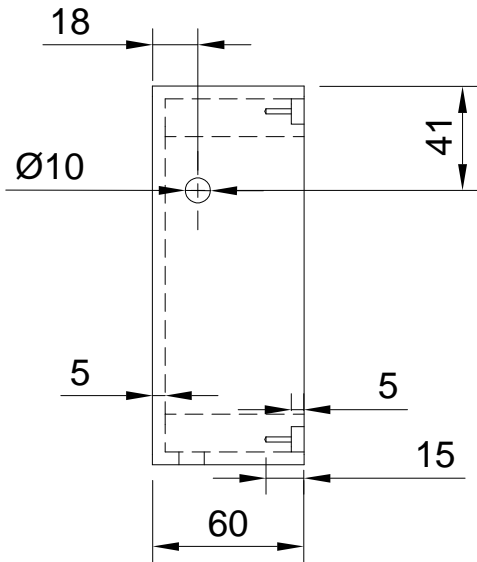


A (1:1)

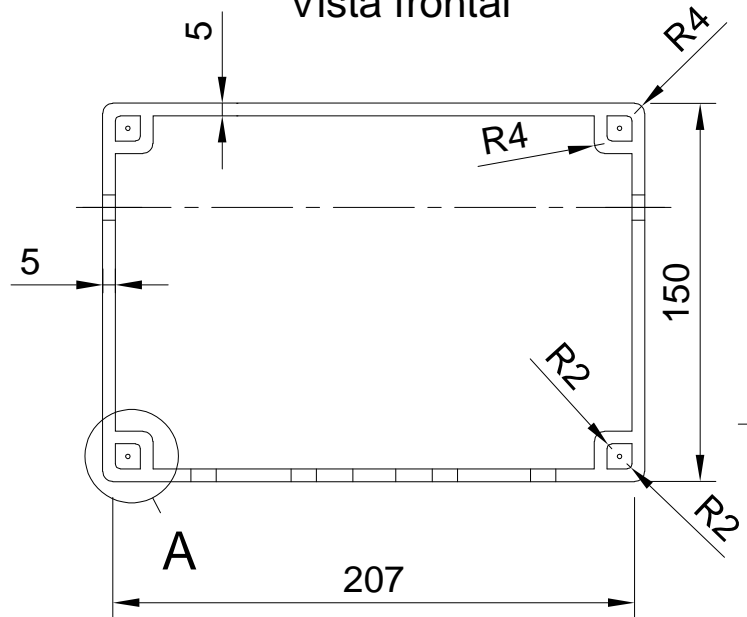




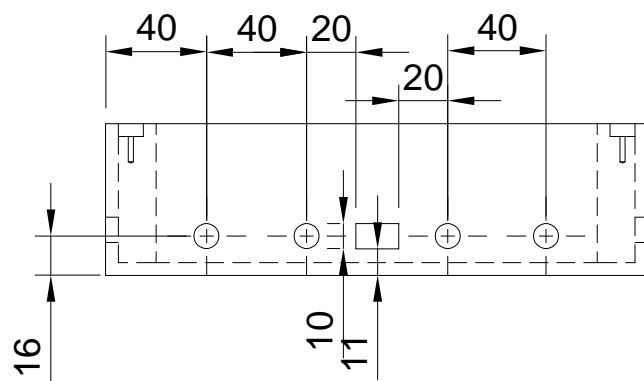
Vista lateral izquierda



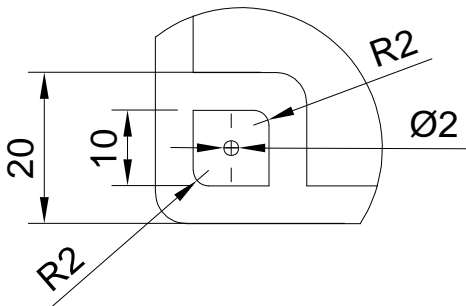
Vista frontal



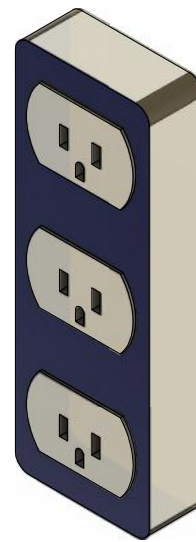
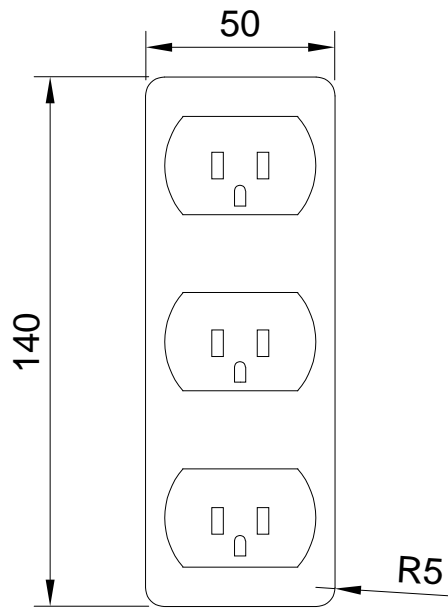
Vista inferior



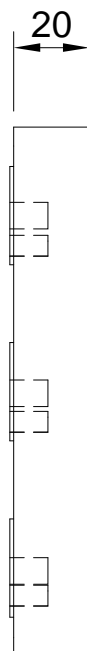
A (1:1)

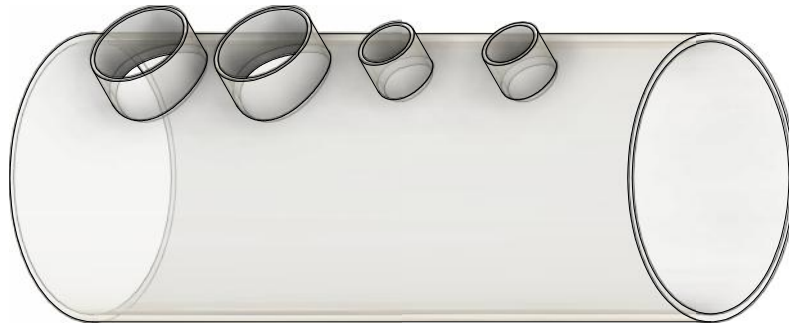


Vista Frontal



Vista Lateral Derecha





Vista Lateral Derecha

Vista Frontal

