



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

— **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicación

Aplicación IoT para el mantenimiento automático de
piscinas

Trabajo Fin de Grado

Grado en Tecnología Digital y Multimedia

AUTOR/A: Domenech Deusa, Joan

Tutor/a: Palau Salvador, Carlos Enrique

Cotutor/a: Lacalle Úbeda, Ignacio

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



Resumen

Este proyecto consiste en la aplicación móvil “Pool Check” para optimizar el mantenimiento de piscinas mediante los niveles de pH y cloro. Desarrollada con Flutter, un framework de Google para construir aplicaciones nativas, la aplicación se basa en sensores conectados a Fiware, una plataforma de herramientas para Internet de las Cosas, a través de Bluetooth y WiFi. Esta estructura permite a los usuarios monitorizar estos niveles en tiempo real y recibir recomendaciones para el mantenimiento adecuado.

El sistema incluye sensores de pH y cloro, un Arduino, un ESP-01 y un módulo HC-05 para la transmisión de datos. Además, gracias a STH-Comet, se dispone de una base de datos temporal que facilita la creación de gráficas para la prevención de futuros problemas. Para gestionar la información de los sensores, se utiliza un servidor local (en este caso mi propio ordenador) con Fiware instalado, administrando los datos mediante contenedores en Docker Desktop.

El proyecto está orientado a satisfacer las necesidades y requisitos de los usuarios, estableciendo objetivos claros para garantizar un producto eficiente y útil.

Palabras clave: Internet de las Cosas; cloro; pH; Arduino; HC-05; ESP-01; Fiware; sensores



Resum

Aquest projecte consisteix en l'aplicació mòbil "Pool Check" dissenyada per a optimitzar el manteniment de piscines mitjançant els nivells de pH i clor. Desenvolupada amb Flutter, un framework de Google per a construir aplicacions natives, l'app es basa en sensors connectats a Fiware, una plataforma d'eines per a l'Internet de les Coses, mitjançant Bluetooth i Wifi. Aquesta estructura permet als usuaris monitoritzar aquests nivells en temps real i rebre recomanacions per al manteniment adequat.

El sistema inclou sensors de pH i clor, un Arduino, un ESP-01 i un mòdul HC-05 per a la transmissió de dades. A més, gràcies a STH-Comet, es disposa d'una base de dades temporal que facilita la creació de gràfiques per a la prevenció de problemes futurs. Per a gestionar la informació dels sensors, s'utilitza un servidor local (en este cas el meu propi ordinador) amb Fiware instal·lat, administrant les dades mitjançant contenidors en Docker Desktop.

El projecte està orientat a satisfer les necessitats i requisits dels usuaris, establint objectius clars per a garantir un producte eficient i útil.

Paraules clau: Internet de les Coses; clor; pH; Arduino; HC-05; ESP-01; Fiware; sensors



Abstract

This project consists of the mobile application "Pool Check" that optimizes pool maintenance through pH and chlorine levels. Developed with Flutter, a Google framework for building native applications, the app relies on sensors connected to Fiware, a platform of Internet of Things, via Bluetooth and WiFi. This setup allows users to monitor these levels in real-time and receive recommendations for correct maintenance.

The system includes pH and chlorine sensors, an Arduino, an ESP-01, and an HC-05 module for data transmission. Moreover, thanks to STH-Comet, a temporary database is available, facilitating the creation of graphs to prevent future issues. To manage sensor information, a local server is used (in this case, my own computer) with Fiware installed, managing the data through containers on Docker Desktop.

The project is oriented towards satisfying the users' needs and requirements, establishing clear objectives to ensure an efficient and useful product.

Keywords: Internet of Things; chlorine; pH; Arduino; HC-05; ESP-01; Fiware; sensors



RESUMEN EJECUTIVO

La memoria del TFG/TFM del Grado en Tecnología Digital y Multimedia debe desarrollar en el texto los siguientes conceptos, debidamente justificados y discutidos, centrados en el ámbito de la tecnologías digitales y multimedia

CONCEPT (ABET)	CONCEPTO (traducción)	¿Cumple? (S/N)	¿Dónde? (páginas)
1. IDENTIFY:	1. IDENTIFICAR:		
1.1. Problem statement and opportunity	1.1. Planteamiento del problema y oportunidad	S	10-14
1.2. Constraints (standards, codes, needs, requirements & specifications)	1.2. Toma en consideración de los condicionantes (normas técnicas y regulación, necesidades, requisitos y especificaciones)	S	10-43
1.3. Setting of goals	1.3. Establecimiento de objetivos	S	1-2
2. FORMULATE:	2. FORMULAR:		
2.1. Creative solution generation (analysis)	2.1. Generación de soluciones creativas (análisis)	S	10-33
2.2. Evaluation of multiple solutions and decision-making (synthesis)	2.2. Evaluación de múltiples soluciones y toma de decisiones (síntesis)	S	10-33
3. SOLVE:	3. RESOLVER:		
3.1. Fulfilment of goals	3.1. Evaluación del cumplimiento de objetivos	S	34-41
3.2. Overall impact and significance (contributions and practical recommendations)	3.2. Evaluación del impacto global y alcance (contribuciones y recomendaciones prácticas)	S	41-43



Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han estado a mi lado durante este viaje y han contribuido a la realización de este trabajo.

A mi familia y amigos, por su apoyo continuo y sus constantes palabras de ánimo.

A mi pareja, por su infinita paciencia, amor incondicional y por elegir estar a mi lado cada día, proporcionándome la motivación y el equilibrio necesarios.

Y una mención especial a Ignacio Lacalle, cuyo apoyo y conocimientos han sido invaluable para el desarrollo de este trabajo. Su orientación y disposición han marcado una gran diferencia, por lo cual le estoy profundamente agradecido.



Índice general

Capítulo 1.	Introducción y Objetivos	1
1.1	Introducción	1
1.2	Motivación	1
1.3	Objetivos	1
Capítulo 2.	Marco teórico	3
2.1	Historia de la tecnología IoT	3
2.2	Componentes de las plataformas IoT	5
2.3	IoT en la actualidad	7
Capítulo 3.	Pool Check	10
3.1	Introducción del Proyecto	10
3.2	Funcionamiento	10
3.3	Perfiles de Usuarios	10
3.4	Distribución de los Dispositivos	11
3.5	Sondas	12
3.5.1	Calibración	12
3.5.2	Vida Útil	14
Capítulo 4.	Herramientas y tecnologías empleadas	15
4.1	Flutter	15
4.2	Arduino, módulos y sensores	15
4.2.1	Sensor de pH y ORP	16
4.2.2	Módulo Bluetooth HC-05	16
4.2.3	Módulo ESP-01 (WiFi)	17
4.3	Fiware	17
4.3.1	Orion Context Broker	18
4.3.2	MongoDB	18
4.3.3	STH-Comet	18
4.4	Docker Desktop	18
4.5	Postman	19
Capítulo 5.	Diseño de la aplicación	20
5.1	Pantalla Principal	20
5.2	Pantalla de Mantenimiento	21
5.3	Pantalla de Soluciones	21
5.4	Pantalla Sensores	23
5.5	Pantalla Gráficas	24
Capítulo 6.	Arquitectura	26
6.1	Arquitectura del Hardware	26
6.2	Arquitectura del Software	28



Capítulo 7.	Comparación con aplicaciones en el mercado	31
7.1	Pool Calculator	31
7.2	Safepool 365	32
7.3	Automatic pH Doser	33
7.4	Soluciones de Alto Costo	33
Capítulo 8.	Resultados y pruebas	35
8.1	Resultados obtenidos	35
8.2	Problemas encontrados	37
8.3	Nivel de madurez TRL	38
8.4	Código	39
Capítulo 9.	Futuro de la aplicación	40
9.1	Mejoras	40
9.1.1	Problemas Existentes	40
9.1.2	Dosificadores	40
9.1.3	Almacenamiento	41
9.1.4	Avisos en tiempo real	41
9.1.5	Implementación IA	41
9.1.6	Seguridad	42
9.2	Posibilidades	42
9.2.1	Nuevos sensores	42
9.2.2	Salida al mercado	43
9.2.3	Ecosistema de aplicaciones	44
Capítulo 10.	Bibliografía	45



Índice de figuras

2.1. Mapa de EEUU con las estaciones de ARPANET (Ricardo Jornet 2019)	3
2.2. Gráfica con los dispositivos conectados a Internet en billones desde 1992 (Mohammed Labi 2018)	4
2.3. Arquitectura de las plataformas IoT (David Benítez 2016)	7
2.4. Gráfica comparativa del número de dispositivos IoT desde 2010 (Josh Howarth 2024) . .	8
2.5. Principales empresas de software IoT en 2023 (IoT Analytics 2023)	8
3.1. Diagrama de instalación de un dosificador de pH automático (Idegis 2019)	11
3.2. Calibración del módulo convertidor mediante el potenciómetro de offset	12
3.3. Calibración de los sensores mediante soluciones	13
4.1. Diagrama con las partes de un Arduino Uno (Arduino 2021)	15
4.2. Diagrama del funcionamiento de una sonda ORP (Yokoyaka 2014)	16
4.3. Diagrama del funcionamiento de una sonda de pH (Inst Tools 2021)	16
4.4. Diagrama con las partes del módulo HC-05 (Aelectronics 2021)	17
4.5. Diagrama con las partes del módulo ESP-01 (Programarfacil 2017)	17
4.6. Herramienta Docker con los contenedores necesarios activos para el correcto funcionamiento del proyecto	19
4.7. Herramienta Postman realizando una solicitud HTTP POST para la creación de la suscripción al STH para el almacenamiento de datos	19
5.1. Pantalla Principal de la aplicación Pool Check	20
5.2. Pantalla de Inicio de Mantenimiento	21
5.3. Pantalla de Mantenimiento con el primer bloque completado y el segundo bloque desplegado	21
5.4. Pantalla de Mantenimiento con todas las tareas completadas	21
5.5. Pantalla de Inicio de Soluciones	22
5.6. Pantalla de Inicio de Irritación de Ojos y Piel	22
5.7. Pantalla de Irritación con un bloque de Causas desplegado	22
5.8. Pantalla de Irritación con la solución paso a paso desplegada	23
5.9. Sección de Prevenciones en la Pantalla de Irritación	23
5.10. Pantalla de Inicio de Sensores con el Bluetooth encendido y el dispositivo conectado	24
5.11. Pantalla de Medidas con los bloques dinámicos mostrando los valores de pH y ORP	24
5.12. Pantalla de Gráficas desde un dispositivo móvil mostrando los datos de pH del 17/08/2024	25



5.13. Pantalla de Gráficas desde un ordenador mostrando los datos de ORP del 15/08/2024	25
6.1. Instalación del firmware en el módulo ESP8266 ESP-01	26
6.2. Diagrama de conexiones hardware con el Arduino y el ESP-01 en modo programación	27
6.3. Diagrama de conexiones hardware con el Arduino y el ESP-01 en modo envío	27
6.4. Diagrama de secuencia del envío de datos entre los sensores y el dispositivo móvil mediante el protocolo Bluetooth	28
6.5. Diagrama de secuencia del envío de datos entre los sensores y la base de datos MongoDB	29
6.6. Diagrama de secuencia del envío de datos entre los sensores y el dispositivo móvil, con almacenamiento en el STH-Comet de Fiware	30
7.1. Pantalla de inicio de Mantenimiento con un bloque desplegado de Pool Calculator	31
7.2. Pantalla de inicio de la solución para el pH siempre bajo con los bloques desplegados	31
7.3. Ejemplo de pantalla de Mantenimiento de Safepool	32
7.4. Pantalla de Medición de Safepool	32
7.5. Pantalla con los resultados del análisis	32
7.6. Pantalla para la conexión de dispositivos	33
7.7. Pantalla con las medidas realizadas por los sensores y opciones para seleccionar la configuración	33
7.8. Pantalla con interfaz para los dos dosificadores	33
7.9. Dosificador de pH y ORP con WiFi de la marca Seko, junto con su precio	34
7.10. Dosificador de pH y ORP con WiFi de la marca Pentair, junto con su precio	34
8.1. Gráfica de los valores de pH obtenidos el 16/08/2024	35
8.2. Gráfica de los valores de ORP obtenidos el 17/08/2024	36
8.3. Selección de la fecha mediante el desplegable para visualizar las gráficas correspondientes	36
8.4. Gráfica de pH con datos obtenidos cada 10 minutos, mostrando cambios bruscos en las lecturas	37
8.5. Datos descargados de la gráfica de la Figura 8.4, con la fecha en formato ISO 8601 y una falta de datos entre las 9:45 hasta las 10:15 debido a una lectura sin cambios	38



8.6. Diagrama de los distintos niveles de madurez tecnológica (Ayming 2021)	39
9.1. Diagrama del funcionamiento de una bomba dosificadoras peristáltica (Debem 2019)	40
9.2. Diagrama de conexión de un sensor TDS a una placa Arduino (Mercadolibre 2021)	43
9.3. Diagrama del funcionamiento de sensores de nivel (Eicos Sensores 2017)	43

Capítulo 1. Introducción y Objetivos

1.1 Introducción

En la última década, el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés, *Internet of Things*) ha revolucionado la manera en que gestionamos y controlamos diversos aspectos de nuestra vida cotidiana. La capacidad de conectar dispositivos electrónicos a Internet ha creado un ecosistema de dispositivos inteligentes que pueden ser monitoreados y controlados desde cualquier lugar y en cualquier momento, transformando múltiples sectores.

En este contexto, el presente trabajo se centra en el desarrollo de *Pool Check*, una aplicación móvil diseñada para optimizar el mantenimiento de piscinas mediante el uso de sensores IoT. La aplicación permite a los usuarios monitorizar los parámetros de pH y cloro de sus piscinas de manera remota y en tiempo real, dos parámetros cruciales para garantizar la seguridad y el disfrute de los bañistas.

El objetivo de *Pool Check* es proporcionar una herramienta accesible y eficiente para el mantenimiento de piscinas, utilizando tecnología IoT para optimizar la monitorización y gestión en tiempo real. Para asegurar su efectividad, se han comparado distintas aplicaciones actuales y se ha consultado a expertos, identificando las mejores funcionalidades y asegurando el cumplimiento de todos los requisitos necesarios.

Esta investigación destaca cómo *Pool Check* puede optimizar el mantenimiento de piscinas, garantizando a los usuarios un entorno seguro y bien gestionado gracias a la integración de tecnología IoT.

1.2 Motivación

La motivación para desarrollar esta aplicación surge de mi curiosidad por los sensores conectados a Internet y mi deseo de crear algo útil y funcional. Durante el año pasado, trabajé en Leroy Merlín y observé las dificultades que enfrentan las personas para mantener sus piscinas correctamente. Este problema me inspiró a buscar una solución que pudiera simplificar y mejorar este proceso.

Al comenzar con la asignatura de IoT, descubrí el enorme potencial de esta tecnología en diversos sectores. Decidí combinar mis experiencias y conocimientos para desarrollar una aplicación que facilitara el mantenimiento de las piscinas, aprovechando los sensores IoT.

El desarrollo de esta aplicación ha sido un reto que me ha permitido adquirir numerosos conocimientos técnicos y prácticos. Estoy convencido de que las tecnologías IoT tienen un potencial inmenso, y seguiré explorando sus aplicaciones para desarrollar proyectos útiles y transformadores.

1.3 Objetivos

La finalidad del proyecto es desarrollar una solución tecnológica para el mantenimiento de piscinas utilizando sensores IoT. Para cumplir con este objetivo principal, se han establecido los siguientes objetivos secundarios necesarios para el buen desarrollo del trabajo:

- 1.- Investigar y comparar las distintas aplicaciones disponibles en el mercado para identificar las funcionalidades clave que deben ser implementadas en la solución.



2.- Crear una aplicación móvil intuitiva que permita a los usuarios mantener sus piscinas. La aplicación debe incluir tres funcionalidades principales:

- Una ventana de mantenimiento semanal con pasos detallados para mantener la piscina limpia
- Una sección con soluciones a los problemas más comunes que los usuarios pueden enfrentar
- Una opción de mediciones para registrar y visualizar los niveles de cloro y pH
- Gráficas interactivas que muestren los niveles de pH y cloro a lo largo del día

3.- Diseñar un sistema basado en Arduino con sensores de pH y cloro para la recolección de datos en tiempo real. Se deben utilizar módulos de Bluetooth y WiFi para enviar los datos, garantizando la precisión y fiabilidad mediante calibraciones y pruebas en condiciones reales.

4.- Implementar una base de datos de almacenamiento sobre Orion, previamente instalado, para mantener los datos actualizados en tiempo real y almacenarlos. Esto proporcionará una herramienta eficaz para el análisis y la toma de decisiones.

Capítulo 2. Marco teórico

Antes de iniciar con el proyecto, es fundamental explicar ciertos conceptos clave y profundizar en la comprensión del término Internet de las Cosas (IoT). Este capítulo tiene como objetivo explorar la historia, el funcionamiento y el estado actual de esta tecnología, así como los múltiples beneficios que ofrece.

2.1 Historia de la tecnología IoT

El Internet de las Cosas se puede definir como una tecnología capaz de generar datos en tiempo real mediante dispositivos inteligentes interconectados. La recolección y procesamiento de estos datos facilita la toma de decisiones informadas y el diseño de nuevos productos, contribuyendo a la automatización en diversos sectores.

Aunque el IoT, tal como lo conocemos hoy en día es relativamente reciente, la idea de dispositivos conectados existe desde principios del siglo XIX. Uno de los primeros hitos fue la creación del telégrafo, que permitió la comunicación directa y la transmisión de información a distancia, sentando las bases para las futuras tecnologías de conectividad [1].

El trabajo de Alan Turing también ha sido fundamental en el desarrollo conceptual del IoT. Considerado el precursor de la informática moderna, Turing anticipó en varios de sus artículos de 1950 que "en el futuro existiría la necesidad de dotar de inteligencia y aportar capacidades de comunicación a los dispositivos sensores" [2]. Esta visión, aunque adelantada a su tiempo, es la base sobre la que se ha construido el IoT.

El avance más significativo empezó en 1958 en los Estados Unidos, con la fundación de la *Advanced Reserachs Projects Agency* (ARPA) por parte del Departamento de Defensa. Esta agencia se centró en desarrollar comunicaciones directas entre ordenadores, con el objetivo de conectar las distintas bases de investigación militar. En 1967, se presentó un plan para crear una red de ordenadores llamada ARPANET, que sentó las bases de lo que hoy conocemos como Internet [1].

La red ARPANET continuó expandiéndose, y en 1971 logró tener 23 puntos conectados. Un año después, en la *First International Conference of Computers and Communication* en Washington, DC, se demostró la operatividad del sistema al conectar 40 puntos en diversas ubicaciones [3]. Este hito fue fundamental para el desarrollo de otras redes, como Telenet, Usenet o Bitnet, que surgieron entre 1974 y 1982. No obstante, ARPANET siguió siendo el estándar y, en 1982, adoptó el protocolo TCP/IP, marcando el nacimiento de Internet como una red global.

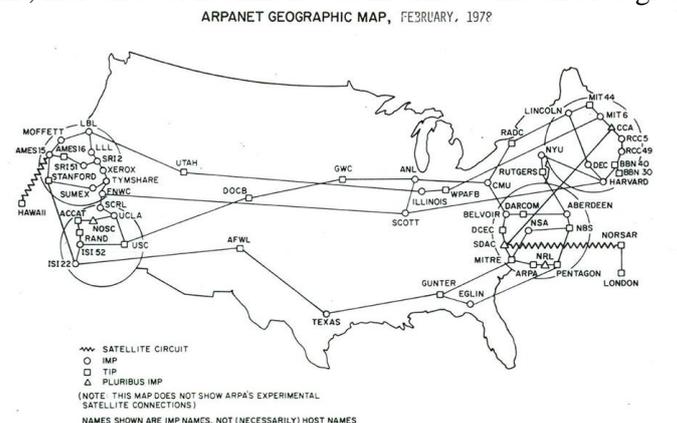


Figura 2.1. Mapa de EEUU con las estaciones de ARPANET (Ricardo Jornet 2019)

El uso del protocolo TCP/IP permitió la conexión de dispositivos a Internet de manera más eficiente. En 1982, por primera vez, se conectó un objeto a ARPANET: una máquina dispensadora de Coca-Cola [4]. Este dispositivo estaba vinculado a un servidor, lo que permitía conocer, a través de comandos, el número de botellas restantes y el tiempo que llevaban enfriándose. Este hecho pionero es considerado uno de los primeros ejemplos de lo que hoy entendemos como IoT.

Durante la década de 1990, con la creciente popularidad de Internet, surgió un interés por conectar objetos cotidianos a la red. Uno de los primeros ejemplos fue una tostadora que podía encenderse y apagarse de forma remota, lo que la convierte en uno de los primeros dispositivos IoT documentados. En esta misma década, el término “Internet of Things” fue acuñado por Kevin Ashton, un investigador especializado en tecnología RFID del MIT, durante una presentación corporativa en 1999 [2].

El cambio más significativo en el desarrollo del IoT se produjo a partir de los años 2000, debido a la popularización de la conectividad inalámbrica tanto celular como WiFi. Esto facilitó la creación de nuevos dispositivos conectados y permitió que grandes empresas, como LG, anunciaran proyectos de electrodomésticos inteligentes que pudieran conectarse a Internet [5]. Entre 2008 y 2010, el número de dispositivos conectados a la red superó la población mundial, lo que resalta la rápida expansión del ecosistema IoT.

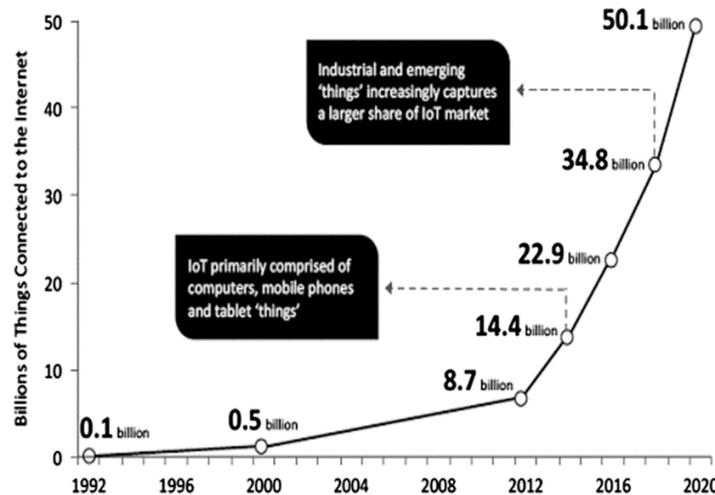


Figura 2.2. Gráfica con los dispositivos conectados a Internet en billones desde 1992 (Mohammed Labi 2018)

Otro momento clave ocurrió en 2010, cuando el gobierno chino anunció que convertiría esta tecnología en una prioridad estratégica nacional [4]. Esta declaración no solo marcó un punto de inflexión en el desarrollo global del IoT, sino que también consolidó la visión de un mundo cada vez más interconectado.

Desde entonces, la evolución del Internet de las Cosas ha sido exponencial, permitiendo el desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios. Entre ellos destacan la automatización de hogares y fábricas, la monitorización en tiempo real de pacientes, y el seguimiento de vehículos. Además, la integración de tecnologías como la Inteligencia Artificial, el Machine Learning y el Big Data ha ampliado aún más las capacidades del IoT, proporcionando una infraestructura más inteligente y eficiente para la gestión de datos y procesos.

2.2 Componentes de las plataformas IoT

Las plataformas IoT son entornos diseñados para gestionar, conectar y procesar los datos provenientes de dispositivos interconectados [6]. Estas plataformas permiten no solo la recolección y almacenamiento de datos, sino también su análisis, visualización e incluso realizar acciones automatizadas con la información recibida.

Para comprender como funcionan los proyectos basados en el Internet de las Cosas, es esencial analizar los componentes clave que conforman una plataforma IoT. Aunque existen diversas tecnologías y aplicaciones en el mercado, todos los proyectos comparten ciertos elementos en su arquitectura.

1.- Recolección de datos

La recolección de datos es el primer paso en cualquier proyecto basado en IoT. En esta etapa, los sensores y actuadores son los elementos clave, pues se encargan de interactuar directamente con el entorno. Los sensores miden variables específicas como la temperatura, humedad o consumo de energía, mientras que los actuadores realizan acciones concretas basadas en la información recibida, como encender una luz o abrir una válvula.

Para que la recolección sea efectiva, es crucial que estos dispositivos sean compatibles con los protocolos red establecidos para el proyecto, como WiFi, Bluetooth, Zigbee o LoRa, asegurando así una transmisión eficiente de los datos [6]. Además, a menudo requieren una programación previa para adaptarse a las necesidades específicas, lo que puede implicar una calibración de sensores o la configuración de parámetros de red.

La gestión energética es otro factor vital, especialmente en dispositivos que dependen de baterías o fuentes de energía limitadas [7]. Seleccionar dispositivos con un consumo energético eficiente es importante para prolongar la vida útil del sistema y reducir el mantenimiento.

Finalmente, es esencial asegurar que los datos sean válidos y comprensibles para su posterior análisis, lo que previene errores y garantiza la efectividad del sistema IoT desde el inicio.

2.- Conectividad

La conectividad es un elemento central en cualquier plataforma IoT, ya que permite la comunicación entre diferentes dispositivos y asegura la transmisión fiable de datos hacia servidores o pasarelas. Aunque el término IoT hace referencia a Internet, existen diversas tecnologías de red que pueden ser utilizadas dependiendo de los requisitos del proyecto.

Esta elección depende de varios factores, como la distribución geográfica de los dispositivos, la cantidad de datos que se transmiten y la cobertura de red disponible [8]. Por ejemplo, para proyectos con sensores conectados en un área pequeña, como una planta industrial, tecnologías de corto alcance como WiFi o Zigbee pueden ser suficientes. Sin embargo, si los dispositivos están dispersos en un gran área, como una ciudad, se requieren tecnologías que cubran largas distancias, como Sigfox o redes celulares.

Otro aspecto a considerar, es si se debe desplegar una red propia o aprovechar una infraestructura existente. En algunos casos, puede ser más eficiente utilizar una red pública como LoRa o una red celular proporcionada por operadores comerciales. La decisión depende de factores como la escala del proyecto, el control sobre la infraestructura y el presupuesto disponible.

3.- Pasarela o Gateway

La pasarela o *gateway* es un componente crucial en las arquitecturas IoT, ya que actúa como un puente entre los dispositivos IoT y la red, normalmente la nube. Su función principal es habilitar la comunicación entre dispositivos que utilizan diferentes interfaces y protocolos, permitiendo así la interoperabilidad entre ellos y asegurando que los datos puedan ser transmitidos de manera efectiva [8].

Además de facilitar la comunicación entre distintas redes, la pasarela se encarga de agrupar y procesar los datos recibidos de los dispositivos IoT antes de enviarlos a la nube o a servidores centrales. La pasarela también puede realizar el filtrado, agregación y análisis en tiempo real de los datos, reduciendo la carga en la nube y mejorando la eficiencia del sistema. Asimismo, también pueden recibir comandos y enviarlos a los actuadores, permitiendo el control remoto basado en los datos.

Sin embargo, las pasarelas son puntos críticos en la arquitectura de red y pueden ser un objetivo para ciberataques. Por lo tanto, es crucial garantizar que sean seguras para evitar vulnerabilidades que puedan comprometer la integridad y disponibilidad del sistema.

4.- Almacenamiento de Datos

El almacenamiento de datos es un componente crucial en los proyectos IoT, pues permite preservar la información generada por los sensores. Sin un almacenamiento adecuado, los datos perderían su valor y la utilidad de los sistemas IoT sería limitada. A diferencia de las bases de datos tradicionales, las utilizadas en IoT tienen características especiales para responder a las necesidades de estos proyectos.

Una de las principales diferencias, es su capacidad para manejar secuencias de valores conocidas como series temporales, que sirven para registrar cada dato enviado por los sensores junto con su correspondiente marca de tiempo [9]. Esto permite seguir la evolución de variables clave a lo largo del tiempo.

Otra característica esencial es la escalabilidad, pues el número de dispositivos conectados puede aumentar significativamente, lo que a su vez incrementa el volumen de datos generado. Es crucial que las bases de datos puedan escalar de manera eficiente, para manejar este aumento sin comprometer el rendimiento ni la integridad de la información.

El almacenamiento de datos puede realizarse en instalaciones locales (*on-premise*) o en la nube, y la elección dependerá de los requisitos que tenga el proyecto como puedan ser la escalabilidad, el control sobre los datos y el presupuesto.

5.- Analíticas y gráficas

En esta etapa final del proceso, los datos recopilados se analizan y visualizan para extraer valor de ellos. Si bien los datos generados por los sensores IoT son valiosos por sí mismos, su verdadero potencial se revela cuando son analizados en profundidad, permitiendo identificar patrones, tendencias y conocimientos útiles. Para ello, se aplican algoritmos avanzados como el Machine Learning, que transforman los datos crudos en información significativa.

La visualización de los datos es el puente entre el análisis y la toma de decisiones [8]. A través de gráficos, tablas y *dashboards* los usuarios pueden interpretar los resultados del análisis de manera intuitiva. Es importante que la interfaz de usuario (UI) sea diseñada con un enfoque en la experiencia del usuario (UX), pues la percepción del usuario y la facilidad de uso son tan importantes como la precisión del análisis. La rapidez de carga y actualización de datos también juegan un papel fundamental en la eficacia de la plataforma IoT.

Las aplicaciones IoT permiten recibir alertas en tiempo real, tomar decisiones inmediatas e incluso enviar comandos a los dispositivos conectados. Para que sean efectivas, deben ser diseñadas para ser fácilmente comprensibles y operables, presentando la información de manera clara y permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas rápidamente.



Figura 2.3. Arquitectura de las plataformas IoT (David Benítez 2016)

2.3 IoT en la actualidad

El Internet de las Cosas ha evolucionado de un concepto futurista a una realidad que está transformando numerosos sectores. Desde 2010 el crecimiento de IoT ha sido exponencial, impulsado por avances en la miniaturización de dispositivos y mejoras de conectividad. Estos factores han permitido que casi cualquier dispositivo sea “inteligente” y pueda estar conectado, ampliando el abanico de posibilidades.

Hoy en día IoT ha permitido que muchos sectores mejoren su productividad y eficiencia. En el ámbito industrial ha dado lugar a la llamada “Industria 4.0”, permitiendo que pueda controlarse cada aspecto del proceso productivo y por tanto, aumentando la eficiencia y optimizando recursos.

Un ejemplo práctico en la industria es el caso de *Rolls-Royce*, que desde 2018 ha integrado en sus motores el sistema *Equipment Health Monitoring* (EHM) conformado por una red de sensores [10]. Gracias a la gran cantidad de datos generados y al uso de herramientas de Machine Learning, pueden realizar mantenimiento predictivo a sus equipos, optimizando tanto los recambios en stock como el tiempo en envío de piezas.

El crecimiento ha sido tan rápido que según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), en 2020 el 16,8% de las empresas españolas ya utilizaban tecnologías IoT, siendo esta una de las soluciones tecnológicas más adoptadas por las compañías [11].

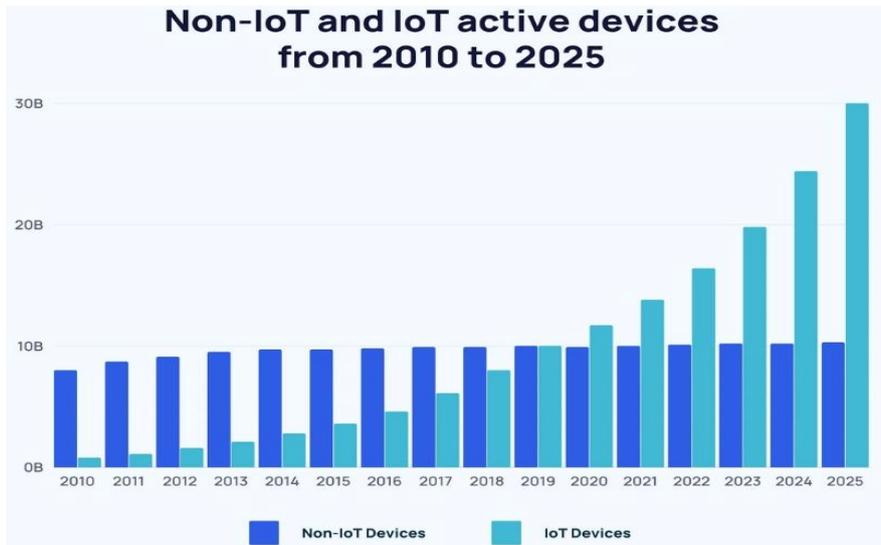


Figura 2.4. Gráfica comparativa del número de dispositivos IoT desde 2010 (Josh Howarth 2024)

Más allá de la industria, otros sectores también han experimentado avances significativos gracias al IoT. En la agricultura ha habido una notable revolución debido a la “agricultura de precisión”, pues los agricultores gestionan sus cultivos permitiendo un uso más eficiente de los recursos y mayor productividad [12].

Otro cambio importante se encuentra en la vida cotidiana, ya que la domótica ha transformado nuestros hogares y ciudades introduciendo el concepto de “ciudades inteligentes” y mejorando nuestra calidad de vida [10].

El ámbito empresarial sigue en constante expansión, pues grandes compañías como Amazon y Google están a la vanguardia ofreciendo nuevos servicios basados en IoT. Un ejemplo destacado es AWS IoT, que proporciona un conjunto de herramientas y servicios que permiten a las empresas conectar dispositivos a la nube, procesar los datos y tomar decisiones informadas en tiempo real [13]. En el sector de la salud se utiliza para crear sistemas de monitoreo continuo de pacientes, enviando alertas en tiempo real y mejorando la respuesta médica.

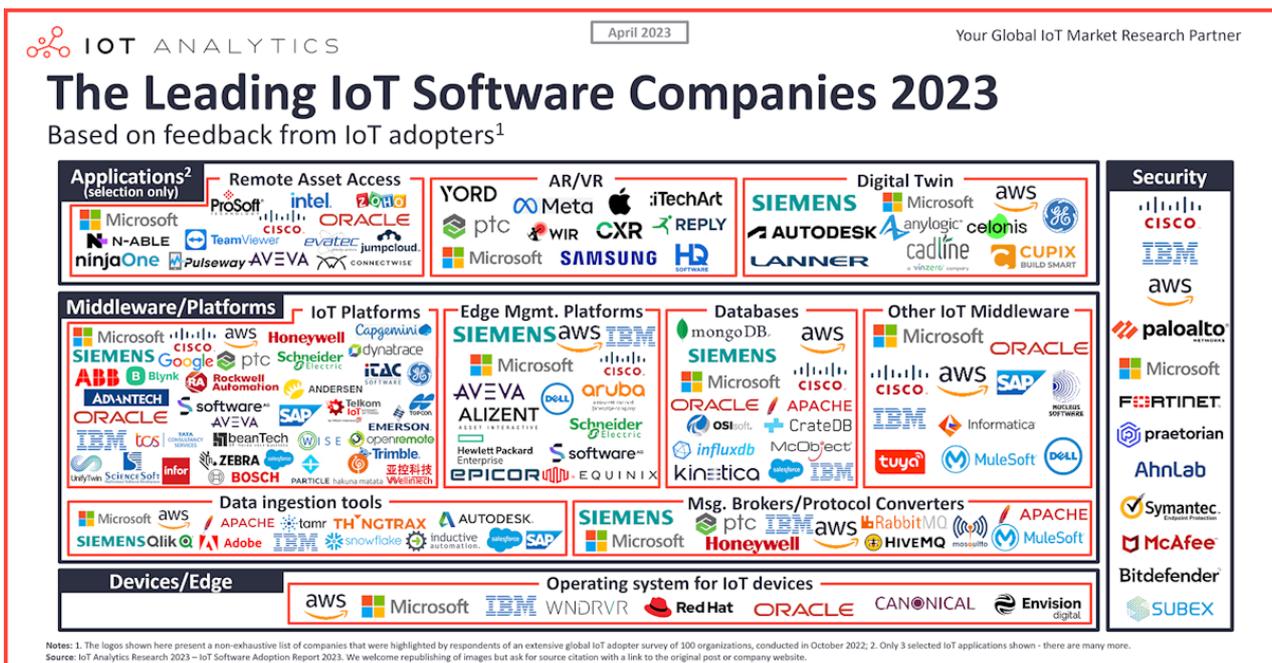


Figura 2.5. Principales empresas de software IoT en 2023 (IoT Analytics 2023)



Si miramos hacia el futuro, el Internet de las Cosas promete tener un impacto aún mayor. A medida que avanza la tecnología en Inteligencia Artificial, redes 5G y edge computing se acelerará la integración del IoT, permitiendo una automatización más inteligente y una interacción más natural entre humanos y máquinas.

Aunque el potencial de mercado es enorme, es necesario abordar desafíos como la privacidad, seguridad y la creación de infraestructuras robustas. La adopción de estándares globales y el desarrollo de soluciones de ciberseguridad serán esenciales para asegurar el éxito y la expansión del IoT en los próximos años.

Capítulo 3. Pool Check

En este capítulo se profundiza en el proyecto *Pool Check*, detallando los aspectos fundamentales para comprender la visión y objetivos. A continuación se explica en detalle lo que se pretende lograr con este proyecto.

3.1 Introducción del Proyecto

El propósito de *Pool Check* es desarrollar una aplicación que haga más sencillo el mantenimiento de piscinas, haciéndolo más accesible y menos costoso en comparación con otras soluciones en el mercado actual. Esta idea surge de mi experiencia personal y de observar la gran cantidad de aplicaciones existentes que son efectivas, pero relativamente caras. Por lo tanto, el proyecto busca mejorar estas aplicaciones y ofrecer una alternativa asequible.

La idea central es que el usuario pueda gestionar su piscina de manera sencilla sin tener que usar métodos tradicionales como las tiras reactivas o kits para medir el pH y el cloro. Estos métodos carecen de precisión, ya que dependen de la interpretación del color y no hay forma de saber el valor exacto [14].

Para garantizar que estos objetivos se cumplen, todas las decisiones funcionales se han tomado con la ayuda de profesionales del sector, asegurando que el producto final aporte las herramientas necesarias para un mantenimiento efectivo y sencillo.

3.2 Funcionamiento

Debido a mi experiencia previa con el Internet de las Cosas en la carrera e inspirado por su potencial, surgió la idea de utilizar esta tecnología para mejorar la calidad de vida de los usuarios. El funcionamiento básico del sistema consiste en sensores que miden los niveles del cloro y pH de la piscina, enviando estos datos en tiempo real al dispositivo móvil e informando al usuario para poder tomar decisiones.

A medida que avanzaba el proyecto, la idea inicial se fue perfeccionando, incluyendo la posibilidad de incorporar funciones de mantenimiento adicionales. La visión final es una aplicación móvil que no solo informe al usuario, sino que también controle de forma automática los niveles químicos del agua. Esta automatización puede incluir un mecanismo para dosificar los productos necesarios, lo que simplifica más el mantenimiento para el usuario.

Aunque esta es la visión final del proyecto, este documento se centrará en los primeros pasos y en los logros alcanzados hasta la fecha.

3.3 Perfiles de Usuarios

Para garantizar el éxito de *Pool Check*, es fundamental identificar los perfiles de usuario a los que va dirigido el proyecto. Este proyecto está diseñado principalmente para propietarios de piscinas que necesitan una manera más sencilla y eficiente de mantener el agua. La aplicación está pensada para ser accesible e intuitiva, lo que permite que cualquier persona acostumbrada a usar dispositivos móviles pueda gestionar su piscina sin problemas.

Esta facilidad significa que no se necesita ningún conocimiento previo sobre mantenimiento de piscinas, ni sobre productos químicos. Toda la información necesaria se presenta de forma clara y accesible, convirtiendo a *Pool Check* en una solución ideal para personas que desean disfrutar de su piscina sin preocupaciones.

Sin embargo, es importante considerar la instalación de los dispositivos físicos como los sensores y el sistema de dosificación. Aunque la aplicación es fácil de usar, la instalación puede requerir conocimientos técnicos. Para solucionar esta posible barrera, se contempla contar con técnicos especializados que a parte de la instalación, también ofrecerán servicios de mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento a lo largo del tiempo. Esto garantiza que usuarios con conocimientos técnicos limitados pueden seguir usando el sistema.

La base de usuarios potenciales es amplia y diversa. El mercado objetivo incluye tanto a propietarios de piscinas como a profesionales encargados del mantenimiento de piscinas en entornos comerciales (polideportivos, fincas, hoteles, etc.). Estos usuarios profesionales pueden usar *Pool Check* como una herramienta para gestionar múltiples piscinas de manera más eficiente.

3.4 Distribución de los dispositivos

Una correcta instalación es fundamental para asegurar un buen funcionamiento, especialmente debido a la fragilidad de los sensores. La ubicación de estos sensores es crucial, pues colocarlos directamente en la piscina es inviable, ya que podrían dañarse fácilmente o dejar de funcionar por los bañistas.

El lugar adecuado para la instalación es en el sistema de filtración de la piscina. Los filtros suelen estar ubicados en zonas cerradas, alejadas de los bañistas y con una fuente de energía cercana. Estas condiciones forman un entorno perfecto para monitorear la calidad del agua y almacenar los productos químicos de manera segura.

La instalación sigue un esquema típico en la industria (ver Figura 3.1), donde se analiza el agua filtrada y un controlador dosifica tanto el reductor de pH como el cloro líquido. El proceso es sencillo: los sensores, instalados a la salida del filtro, analizan el agua limpia y miden los niveles de pH y cloro. Si el valor de pH detectado es superior al rango establecido, el controlador dosifica automáticamente el reductor de pH. De la misma forma, si los niveles de cloro son bajos, se añade el cloro líquido para mantener la piscina limpia.

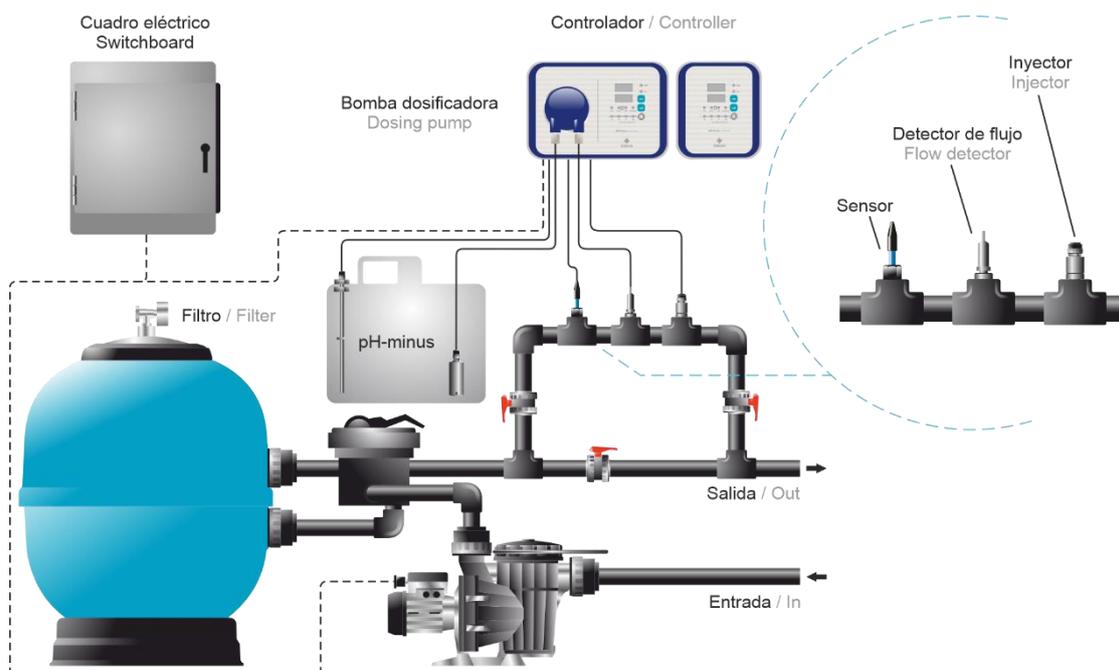


Figura 3.1. Diagrama de instalación de un dosificador de pH automático (Idegis 2019)

En nuestro caso, el controlador estará compuesto por un Arduino y sus módulos. Para proteger estos componentes y facilitar su instalación, será necesario diseñar una carcasa resistente y compacta. Además de proteger los componentes, debe permitir un fácil acceso para que los técnicos pueden realizar un buen mantenimiento y cambiar los componentes cuando sea necesario. Otro componente necesario es una fuente de energía cercana, ya sea un enchufe o una batería externa.

Por último, será necesario usar una Raspberry Pi o un dispositivo similar para que actúe como un servidor. Aunque el prototipo actual utiliza un PC, una placa como la Raspberry Pi resulta más práctica y ocupa menos espacio, siendo ideal para integrarse en la instalación.

3.5 Sondas

Las sondas son el elemento más delicado y crítico de todo el sistema, por tanto su mantenimiento es esencial para asegurar la precisión del dispositivo. Dependiendo del cuidado y mantenimiento que se le dé, la vida útil puede variar desde apenas unas semanas hasta varios años.

3.5.1 Calibración

El primer paso en el mantenimiento de las sondas es su calibración, tanto el sensor de pH como el de ORP deben estar calibrados correctamente para realizar lecturas precisas. A parte de la calibración inicial es recomendable recalibrar las sondas cada seis meses, siempre que los datos obtenidos no tengan irregularidades [15]. Si esto ocurriese, se debe realizar una calibración inmediata para descartar posibles fallos.

Para la calibración del sensor de pH, es necesario realizar un ajuste previo en el módulo convertidor. Este ajuste permite asegurar que un pH de 7 corresponda con un voltaje de 2.5V en el pin analógico de Arduino, evitando problemas con valores negativos [16].

El potenciómetro se ajusta simulando un pH de 7, lo cual se logra mediante un cortocircuito en el conector BCN del sensor [16]. Mediante la ayuda de un cable envuelto en el BCN se simula una lectura de 7, que es el valor neutral (ver Figura 3.2). Con esta configuración se ajusta el potenciómetro de offset hasta que el voltaje de salida del módulo indique 2.5V.

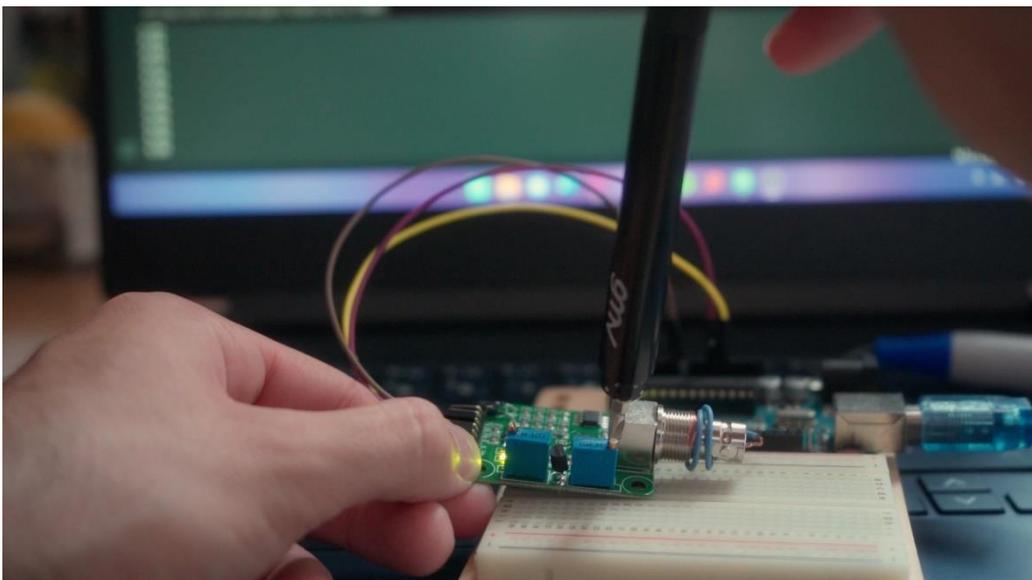


Figura 3.2. Calibración del módulo convertidor mediante el potenciómetro de offset

Durante la calibración, las sondas deben manejarse con cuidado para evitar tocar las puntas de los electrodos, ya que podría causar daños y afectar a la precisión de futuras mediciones [17]. Los pasos a seguir para una correcta calibración son los siguientes:

Es necesario adquirir soluciones de calibración, en nuestro caso se usan polvos que se disuelven en agua destilada para crear soluciones con valores de pH y ORP conocidos. Estas soluciones sirven como referencia para asegurar que las sondas están calibradas correctamente.

Antes de la calibración, es necesario enjuagar las sondas con agua destilada para eliminar cualquier residuo que pudiera interferir en el proceso. Es importante mantener las sondas siempre sumergidas, ya que si se secan dejarán de funcionar permanentemente [18].

Se empieza con la solución de pH 7. El sensor se sumerge en la solución y se ajusta el valor en el código o mediante el convertidor analógico para que coincida con el valor de la solución. Este proceso se repite con soluciones de pH 4 y pH 10 para asegurar que el sensor está calibrado en todo el rango necesario.

En el caso del sensor ORP, el cual mide el cloro, se utiliza una solución con un valor de 250 mV. Una vez que la sonda está sumergida, se presiona el botón “*Calibration*” situado en el conversor para finalizar el proceso de calibración [19].

Al acabar la calibración, las sondas deben enjuagarse con agua destilada y secarse antes de ponerlas en funcionamiento en la piscina.

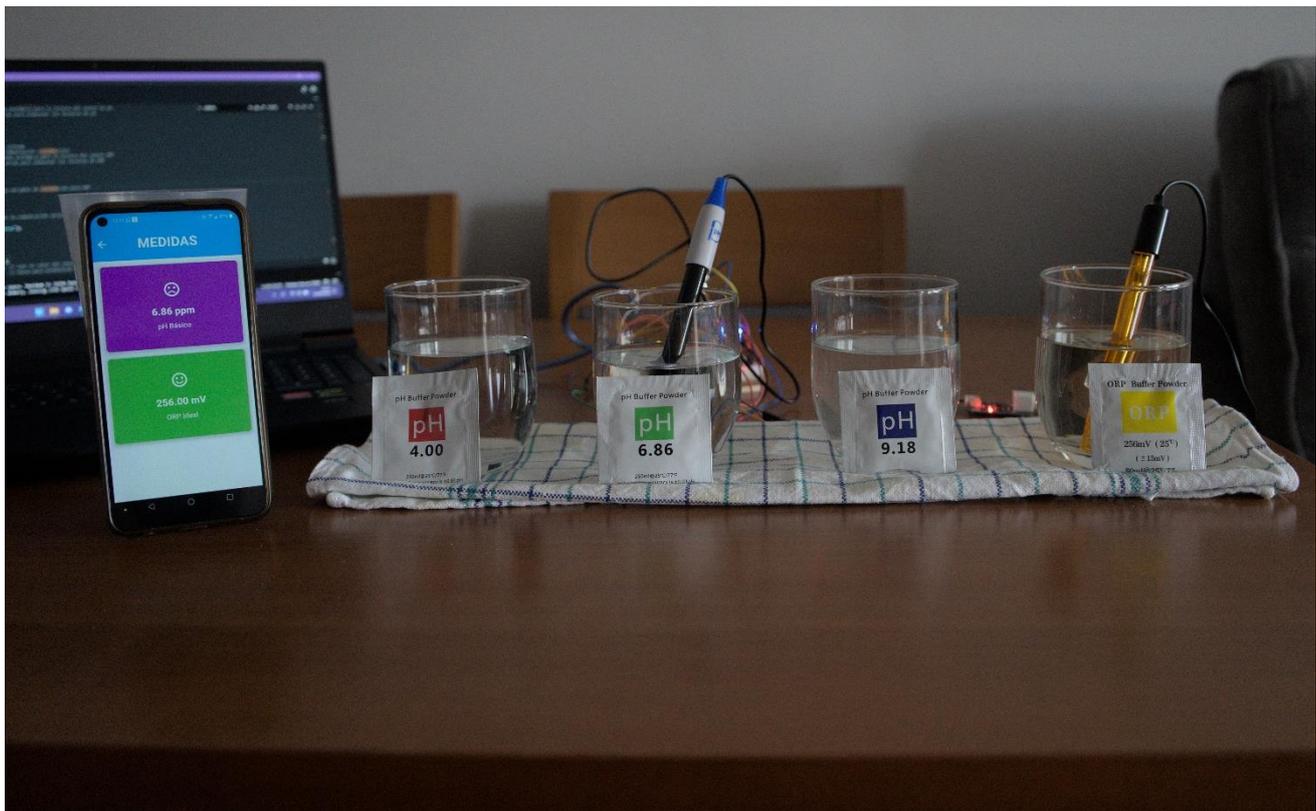


Figura 3.3. Calibración de los sensores mediante soluciones



3.5.2 Vida Útil

Además de la calibración, hay otros factores que pueden influir en la duración de las sondas, como la calidad del agua y la temperatura [20]. La ubicación de las sondas detrás del filtro asegura que no haya partículas en el agua que puedan dañar los sensores, sin embargo un desajuste químico afecta negativamente a las sondas reduciendo su vida útil. Durante procesos de supercloración es importante detener el flujo de agua hacia las sondas hasta que los niveles se estabilicen.

Siguiendo estas recomendaciones de calibración y mantenimiento las sondas, pueden tener una vida útil mínima de un año, con posibilidad de seguir operativas hasta los 6 u 8 años de duración.

Capítulo 4. Herramientas y tecnologías empleadas

Para la implementación del proyecto, se han utilizado varias herramientas y tecnologías que permiten el correcto funcionamiento de la solución. En este capítulo van a explicarse las herramientas y tecnologías usadas, describiendo sus distintas funciones.

4.1 Flutter

Flutter ha sido la herramienta utilizada para el desarrollo de la aplicación móvil en el proyecto. Este *framework* creado por Google permite construir interfaces de alto rendimiento para Android, iOS y web con un único código fuente.

Con esta herramienta se ha logrado crear una aplicación que permite a los usuarios visualizar y gestionar de manera intuitiva los datos recolectados. Además, la aplicación ofrece funcionalidades adicionales como opciones de mantenimiento y resolución de problemas.

La elección de Flutter frente otros *frameworks* se debe a varias ventajas clave como su capacidad para crear aplicaciones multiplataforma, su rapidez en el desarrollo y por su enfoque en el diseño de interfaces muy personalizables.

4.2 Arduino, módulos y sensores

Arduino es una plataforma de desarrollo hardware diseñada para la creación de dispositivos electrónicos interactivos. En este proyecto, se ha utilizado una placa Arduino Uno como el componente para gestionar diversos sensores y módulos de conectividad para monitorear las condiciones del agua.

La placa Arduino ha sido programada para interconectar y controlar los dispositivos que se detallan a continuación, permitiendo la adquisición y procesamiento de datos en tiempo real.

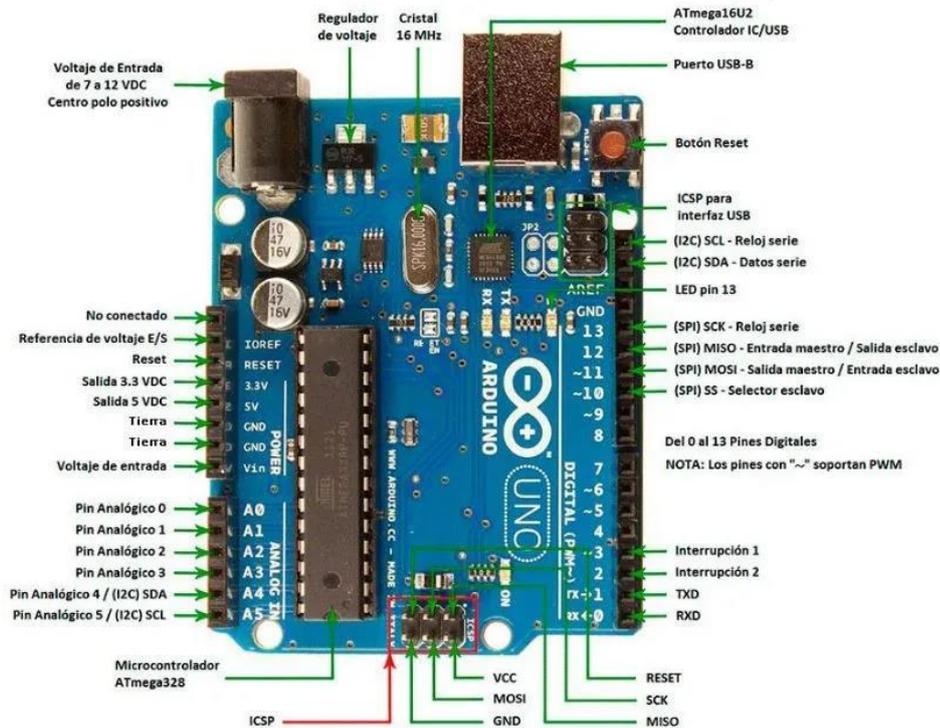


Figura 4.1. Diagrama con las partes de un Arduino Uno (Arduino 2021)

4.2.1 Sensor de pH y ORP

Estos sensores son fundamentales para evaluar la calidad del agua. El sensor de pH mide la alcalinidad del agua, mientras que el sensor ORP (Potencial de Oxidación-Reducción) se encarga de medir su capacidad oxidante, lo cual determina los niveles de cloro presentes en el agua.

El sensor ORP funciona mediante dos sondas sumergidas en el agua, midiendo la diferencia eléctrica entre ellas. Generalmente, una de las sondas suele estar hecha de platino u oro, y la otra de plata [21]. Esta diferencia permite calcular el nivel de capacidad oxidante del agua, y por tanto la cantidad de cloro activo presente.

Por otra parte, el sensor de pH funciona a través de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia [22]. Este dispositivo mide la actividad de iones de hidrógeno, generando una pequeña tensión eléctrica que permite evaluar el nivel de acidez.

Para que estos sensores puedan proporcionar datos útiles es necesario conectarlos al Arduino a través de módulos de conversión, donde los valores analógicos capturados se digitalizan y se envían a la placa.

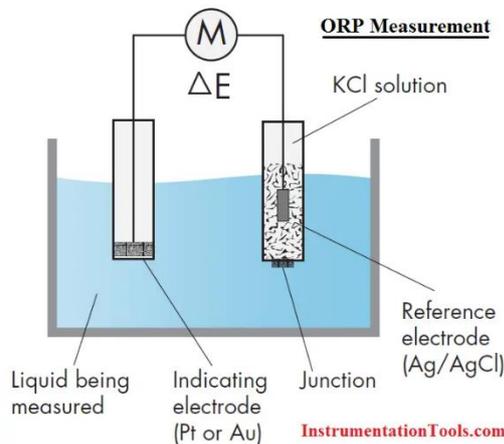


Figura 4.2. Diagrama del funcionamiento de una sonda ORP (Yokoyaka 2014)

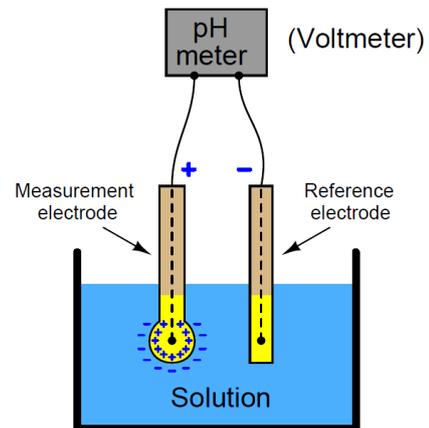


Figura 4.3. Diagrama del funcionamiento de una sonda de pH (Inst Tools 2021)

4.2.2 Módulo Bluetooth HC-05

Este módulo permite la comunicación inalámbrica mediante tecnología Bluetooth entre la placa Arduino y otros dispositivos. En este proyecto se ha utilizado para establecer una comunicación Bluetooth entre la placa Arduino y un dispositivo móvil.

PINOUT Bluetooth HC-05 Maestro Esclavo



STATE: Para conectar un led de salida para visualizar cuando se comuniquen
 RXD: Recepción de datos a un voltaje de 3,3V
 TXD: Transmisión de datos
 GND: La masa del módulo.
 +5V: Alimentación del módulo entre 3,6V y 6V.
 EN: En nivel alto entra en modo "Configuración"

Figura 4.4. Diagrama con las partes del módulo HC-05 (Aelectronics 2021)

4.2.3 Módulo ESP-01 (WiFi)

El módulo ESP-01 es una placa de desarrollo equipada con un procesador ESP8266, un microcontrolador que cuenta con conectividad WiFi incorporada. Mediante este módulo se ha proporcionado acceso a Internet a la placa Arduino, permitiendo que los datos se envíen a la nube.

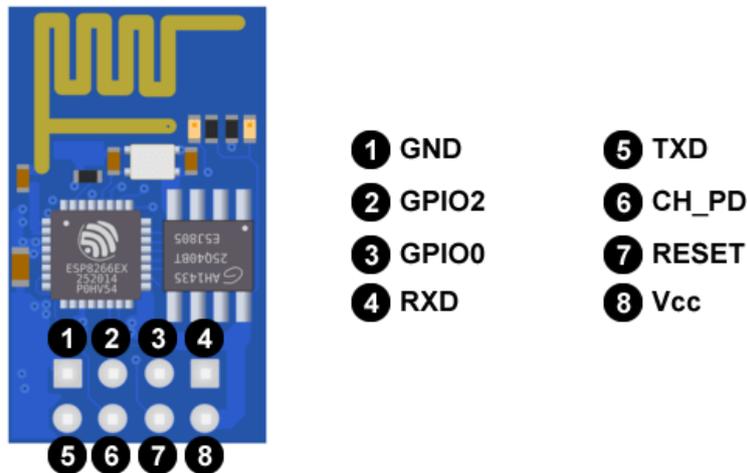


Figura 4.5. Diagrama con las partes del módulo ESP-01 (Programarfácil 2017)

4.3 Fiware

Fiware es un ecosistema de componentes software de código abierto diseñado para facilitar el desarrollo de soluciones IoT, proporcionando herramientas y componentes para la gestión de datos en tiempo real y el control de dispositivos.

En este proyecto se han usado varios componentes para la recolección y almacenamiento de los datos. A continuación se describen los componentes más relevantes:

4.3.1 Orion Context Broker

El OCB (*Orion Context Broker*) es el componente central y obligatorio de cualquier plataforma desarrollada con Fiware. Su función principal es gestionar la información de contexto, es decir, los datos generados por las distintas entidades del sistema IoT, como sensores o actuadores.

El OCB funciona como un servidor que escucha desde un puerto (generalmente el 1026) y utiliza MongoDB como base de datos para almacenar el estado actual de las entidades, sin guardar un historial de cambios en el contexto. El principio fundamental es dissociar la relación entre productores y consumidores a través de un esquema de publicación/suscripción, parecido al enfoque usado en protocolos como MQTT. Esto facilita la escalabilidad y flexibilidad para poder ampliar el sistema sin afectar al flujo de datos.

4.3.2 MongoDB

Es una base de datos NoSQL (Not only SQL) altamente escalable y flexible. Su modelo de almacenamiento se basa en documentos, lo que permite manejar una gran cantidad de datos que llegan de forma continua y en tiempo real. Una de sus principales ventajas es la capacidad de agregar datos de distintos orígenes, creando una vista única de la información procedente de varias fuentes.

En este proyecto MongoDB se utiliza para mantener el registro actualizado de las entidades, consiguiendo tener la información siempre disponible para su consulta en tiempo real. Además, permite almacenar los datos históricos de las entidades en STH-Comet facilitando su recuperación y posterior análisis.

4.3.3 STH-Comet

Como se ha mencionado anteriormente, el OCB únicamente almacena el valor más reciente de los atributos de las entidades. Debido a esta limitación y para poder hacer uso de un historial, es necesario usar un componente adicional de Fiware, en este caso el STH-Comet (*Short-Term History Comet*).

Este componente permite almacenar y consultar el historial de datos de contexto a corto plazo, almacenando la información durante meses. En este proyecto, STH-Comet ha sido usado para registrar periódicamente los datos de cada entidad, capturando un valor cada hora. Estos datos se almacenan en MongoDB y son necesarios para poder crear gráficas.

4.4 Docker Desktop

Docker es una plataforma diseñada para la virtualización de contenedores, proporcionando un entorno de ejecución ligero. Los contenedores sirven como alternativa a otros métodos de virtualización que usan máquinas virtuales, y por tanto no necesitan simular todo el sistema operativo.

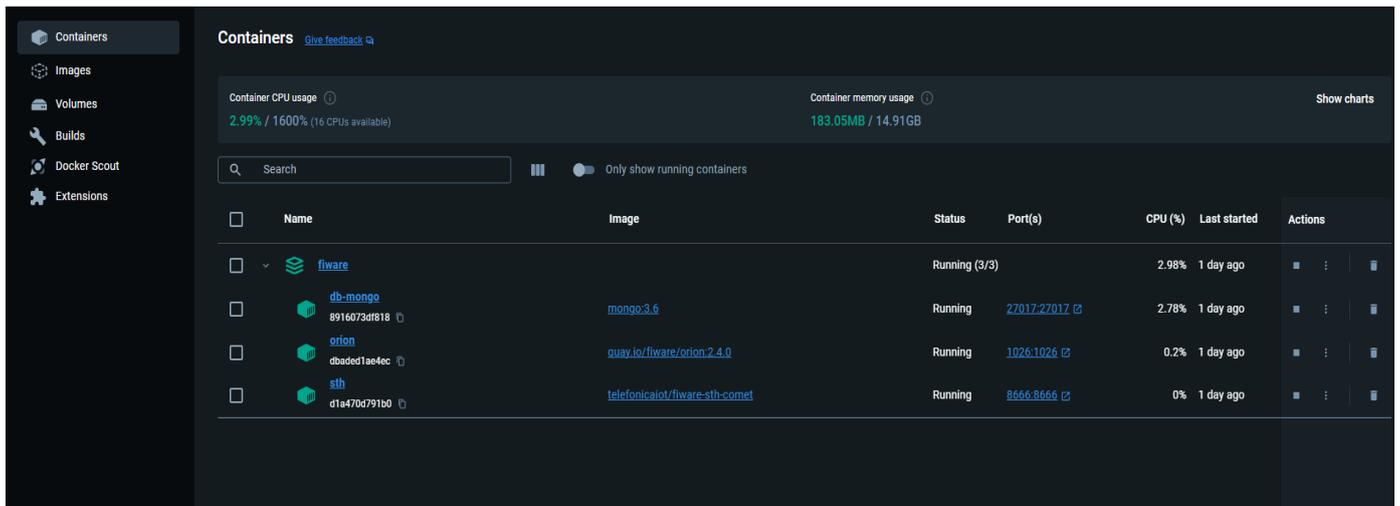


Figura 4.6. Herramienta Docker con los contenedores necesarios activos para el correcto funcionamiento del proyecto

4.5 Postman

Postman es una herramienta para el desarrollo y prueba de APIs diseñada para facilitar la interacción con servicios web y aplicaciones. En este proyecto ha sido muy útil para permitir la creación y gestión de entidades, la suscripción de estas entidades al STH y comprobar que los datos llegaban correctamente al servidor.

Ha sido una herramienta esencial para el envío de solicitudes HTTP (GET, POST y PUT) permitiendo comprobar el correcto funcionamiento de los servicios IoT. Además, su capacidad para incluir y gestionar cabeceras ha sido útil para detectar errores en el código y verificar la recolección de datos.

Aunque su función ha sido la comprobación y gestión de las APIs, ha sido una herramienta útil para el correcto funcionamiento de la plataforma y la detección de errores a lo largo de la producción.

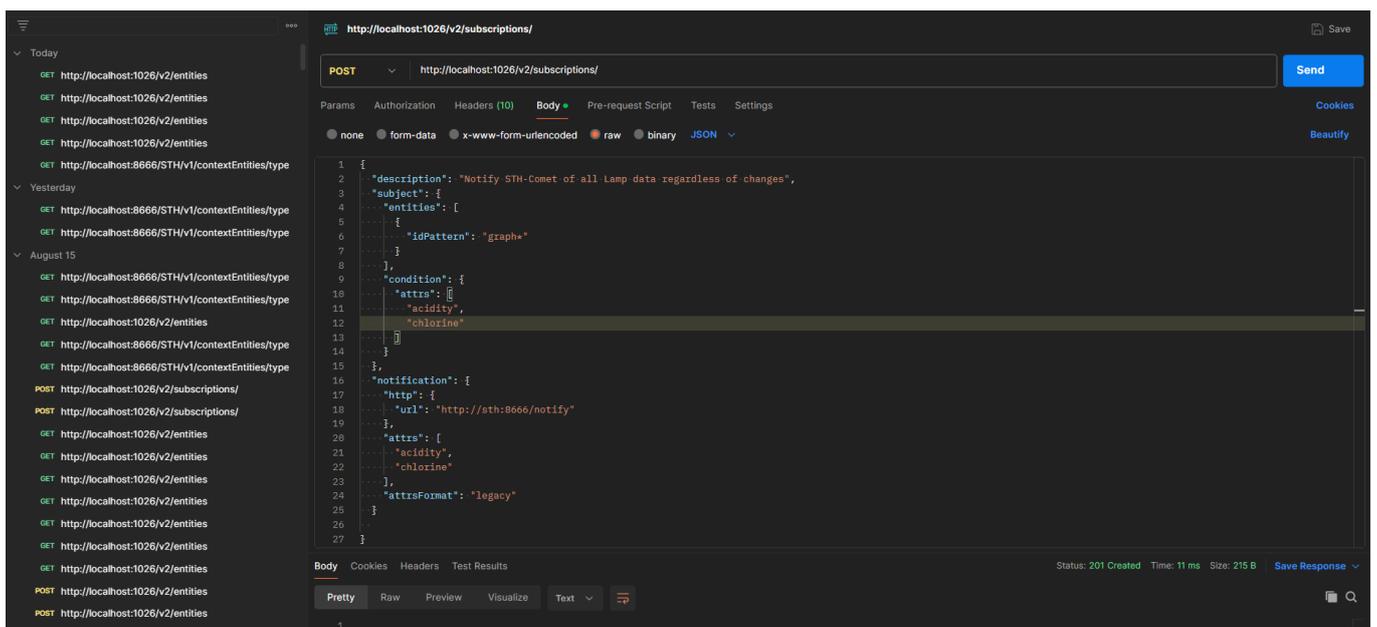


Figura 4.7. Herramienta Postman realizando una solicitud HTTP POST para la creación de la suscripción al STH para el almacenamiento de datos

Capítulo 5. Diseño de la aplicación

Este capítulo pretende explicar las decisiones de diseño y la interacción del usuario con el sistema. No se va a profundizar en la arquitectura técnica, pues se abordará más adelante, en su lugar se procede a explicar las elecciones detrás de las 16 ventanas de la aplicación.

5.1 Pantalla Principal

En el diseño de la pantalla principal se ha optado por omitir pantallas de inicio de sesión y registro. Esta decisión se debe a que cada usuario tiene su propio sistema Bluetooth y los datos dependen del hardware específico. No obstante no se descarta la posibilidad de implementarlo en un futuro, como se discutió en capítulos posteriores.

La pantalla principal está diseñada para mostrar de manera clara y accesible las cuatro funcionalidades principales. Estas funcionalidades son:

- Mantenimiento: Proporciona una guía detallada de los pasos a seguir semanalmente para mantener la piscina limpia y asegurar que todos los valores son correctos.
- Soluciones: Ofrece información sobre los problemas más comunes con el mantenimiento de piscinas, incluyendo métodos de prevención, posibles causas y soluciones al problema.
- Sensores: Permite conectar el móvil a la placa Arduino mediante Bluetooth y visualizar los valores de pH y cloro en tiempo real.
- Gráficas: Muestra gráficas con los datos obtenidos a lo largo del día, facilitando la visualización de forma clara.

Esta disposición inicial permite a los usuarios acceder rápidamente a las funciones más relevantes con una interfaz minimalista que mejora la experiencia de los usuarios.



Figura 5.1. Pantalla Principal de la aplicación Pool Check

5.2 Pantalla de Mantenimiento

Lo primero que se muestra en la pantalla de Mantenimiento son los pasos que deben realizarse semanalmente para obtener una piscina limpia (ver Figura 5.2). Estos pasos están presentados en una interfaz clara y simple, evitando que el usuario se sienta abrumado por la gran cantidad de texto desde el principio.

Para ver los detalles de cada paso, el usuario debe pulsar la flecha de la esquina derecha de cada bloque (ver Figura 5.3). Al hacerlo se despliegan las instrucciones detalladas de forma comprensible, facilitando la comprensión sin sobrecargar al usuario con un texto extenso. Con esta presentación se asegura una experiencia más relajada.

Una vez se completa una tarea el usuario puede marcarla como completada, cambiando el color del bloque a verde. Esto proporciona una forma visual de verificar el progreso, mientras hace que el mantenimiento sea más gratificante permitiendo al usuario saber las tareas que ha realizado. Una vez se completan todas las tareas, los bloques se vuelven verdes y ocupan menos espacio, proporcionando una vista clara del progreso (ver Figura 5.4).



Figura 5.2. Pantalla de Inicio de Mantenimiento

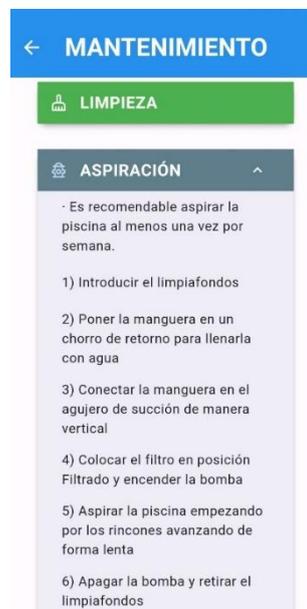


Figura 5.3. Pantalla de Mantenimiento con el primer bloque completado y el segundo bloque desplegado



Figura 5.4. Pantalla de Mantenimiento con todas las tareas completadas

5.3 Pantalla de Soluciones

La pantalla de Soluciones presenta un total de 10 problemas comunes en el mantenimiento de piscinas, 7 de ellos al principio de la ventana y otros 3 dentro del apartado “Colores Extraños”. Cada problema tiene su nombre y el usuario simplemente debe seleccionar el indicado para acceder a su solución.

Al seleccionar un problema, se abre una nueva ventana dividida en tres secciones principales:

Causas: En esta sección se presentan las principales causas del problema. Se explican tanto factores ambientales como errores de mantenimiento o la aparición de contaminantes. Si el usuario quiere saber más detalles de alguna causa, puede pulsar el icono de información para que aparezca un texto explicativo.

Soluciones: La segunda sección ofrece una guía paso a paso para solucionar el problema. Al inicio no se muestra texto y simplemente aparece un desplegable comprimido para mantener una interfaz limpia y sin sobrecargar al usuario con texto. Al pulsar la flecha derecha se despliega la información detallada de manera clara, breve y fácil de seguir.

Prevención: En la última sección se presentan recomendaciones para evitar que el problema vuelva a surgir o que no ocurra con tanta regularidad. Estas indicaciones aparecen en bloques de texto sencillo para que cualquier usuario comprenda fácilmente las medidas a realizar.

El diseño general de estas pantallas sigue este esquema, sin embargo hay diferencias en el problema “Suciedad en los Bordes” ya que se presentan dos soluciones distintas dependiendo del tipo de piscina del usuario. Por otra parte, la interfaz de “Colores Extraños” muestra tres soluciones distintas dependiendo del color del agua. Cada una de ellas está identificada por un color distinto en la interfaz, agregando variación y mejorando la experiencia del usuario.

El diseño de estas ventanas pretende proporcionar toda la información necesaria para un mantenimiento adecuado. Los textos son fáciles de entender y presentan la información en pequeños bloques para no abrumar al usuario en ningún momento.



Figura 5.5. Pantalla de Inicio de Soluciones



Figura 5.6. Pantalla de Inicio de Irritación de Ojos y Piel



Figura 5.7. Pantalla de Irritación con un bloque de Causas desplegado

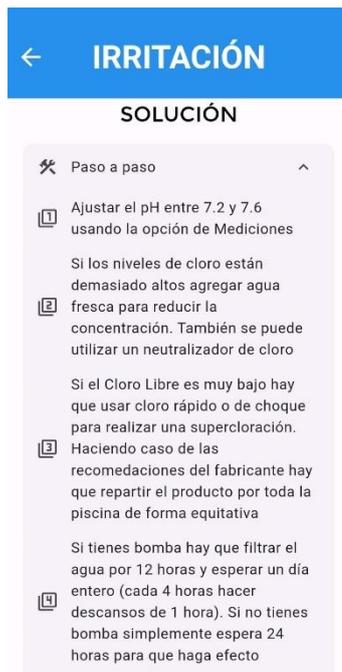


Figura 5.8. Pantalla de Irritación con la solución paso a paso desplegada



Figura 5.9. Sección de Prevenciones en la Pantalla de Irritación

5.4 Pantalla Sensores

Esta función permite conectar el teléfono móvil mediante Bluetooth a la placa Arduino y recibir información de los sensores en tiempo real. Lo primero que muestra la pantalla es una ventana con la opción “Bluetooth apagado”. Al activar el *slider* para encenderlo, la aplicación solicita los permisos necesarios. Una vez concedidos, al pulsar en la opción “Ver Dispositivos”, el usuario podrá visualizar los dispositivos previamente conectados y los nuevos disponibles.

En este caso, se debe conectar al dispositivo HC-05, que corresponde al módulo Bluetooth conectado a la placa Arduino. Tras una conexión exitosa aparece la opción “Ver Medidas”, la cual redirige a una nueva pantalla con los datos de los valores.

En la nueva pantalla se muestran dos bloques que representan los valores de pH y ORP en tiempo real. Estos bloques están diseñados para cambiar dinámicamente según los valores recibidos. Cada uno está compuesto por tres elementos clave: un texto central con el valor medido por el sensor, un icono superior que proporciona información visual y un texto inferior que describe el estado del agua como ideal, bajo, alto, ácido, etc.

Además el color de fondo también cambia con los resultados obtenidos. Para el bloque de pH hay un total de cuatro configuraciones mientras que el de ORP tiene tres (Figura 5.11), estos cambios dependen de los umbrales definidos en la aplicación.

La interfaz dinámica está diseñada para que el usuario pueda interpretar el estado de la piscina de un solo vistazo, sin tener que conocer los valores técnicos ideales. Los cambios de color, iconos y descripción textual permiten una evaluación rápida de los datos facilitando la toma de decisiones y accesibilidad para cualquier usuario.

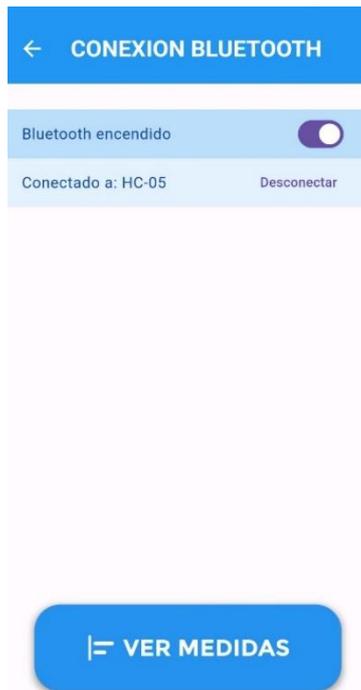
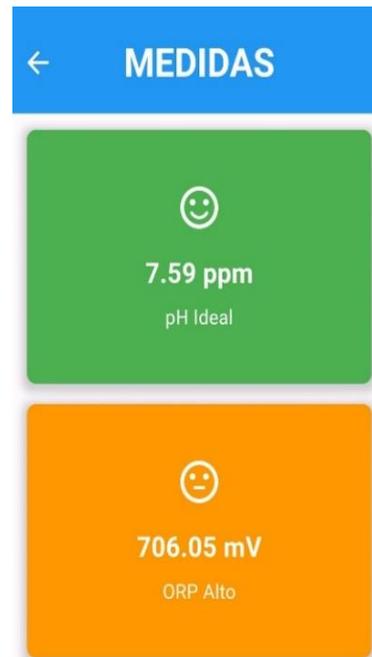


Figura 5.10. Pantalla de Inicio de Sensores con el Bluetooth encendido y el dispositivo conectado



Pantalla 5.11. Pantalla de Medidas con los bloques dinámicos mostrando los valores de pH y ORP

5.5 Pantalla Gráficas

La última función permite representar los datos recolectados a lo largo del día mediante gráficas. Al acceder, el usuario puede interactuar con dos menús desplegables. El primero permite elegir entre los datos de pH y el ORP, mientras que el segundo permite seleccionar el día del queremos ver la información, mostrando solo los días que tienen datos disponibles.

Una vez realizada la selección, la gráfica se genera automáticamente mostrando los datos a lo largo del día con un valor por cada hora. Para tener una interpretación más rápida y precisa, se han usado los colores de la pantalla de sensores para representar los datos.

Es necesario que el dispositivo esté conectado a una red WiFi y que el servidor esté activo para poder acceder a los datos almacenados del STH-Comet. Además, en la esquina superior derecha se encuentra un icono de descarga que permite obtener un archivo Excel, esta opción es útil para los usuarios que quieran realizar un análisis más exhaustivo.

La interfaz ha sido diseñada para adaptarse a pantallas del PC y móviles, aunque en el segundo caso al tener una pantalla más pequeña la información puede verse menos detallada. Aún así la información es legible y comprensible en ambos casos, estando la opción de descargar si es necesario. Futuras mejoras y ajustes serán comentados en capítulos posteriores (Futuro de la Aplicación).

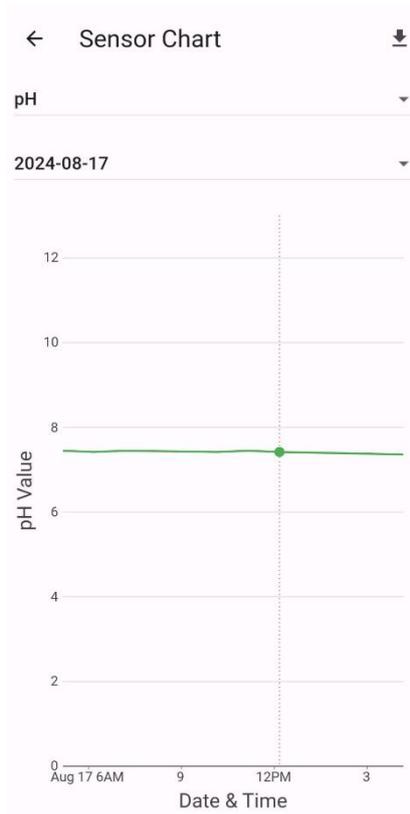


Figura 5.12. Pantalla de Gráficas desde un dispositivo móvil mostrando los datos de pH del 17/08/2024.



Figura 5.13. Pantalla de Gráficas desde un ordenador mostrando los datos de ORP del 15/08/2024.

Capítulo 6. Arquitectura

A continuación se explicará en detalle la arquitectura del hardware y del software, abarcando aspectos como el flujo de datos y la programación de los módulos. Este análisis permitirá entender mejor los aspectos técnicos del proyecto.

6.1 Arquitectura del Hardware

El sistema está compuesto por varios módulos y sensores conectados a una placa Arduino, lo que requiere una correcta configuración de los pines y una programación adecuada para que los datos puedan enviarse correctamente.

La comunicación entre los sensores y el Arduino se realiza de forma sencilla, pues se usan módulos de conversión que permiten leer los valores analógicos de los sensores y enviarlos a la placa Arduino a través de los pines A0 y A1.

Sin embargo, la transmisión de datos a través de Bluetooth y WiFi presenta desafíos adicionales al tener que usar módulos específicos para cada tipo de comunicación.

Para enviar datos vía Bluetooth, se ha usado el módulo HC-05. La configuración de este módulo ha necesitado una programación previa a través de comandos AT, permitiendo ajustar parámetros específicos como la contraseña de acceso y el nombre del dispositivo. Con la configuración correcta, el módulo HC-05 se puede comunicar con el Arduino a través del puerto serie y enviar los datos al móvil.

Por otro lado, la configuración del ESP-01 ha sido más compleja. En primer lugar, se ha puesto el módulo en modo “Flash” para cargar el firmware y verificar su funcionamiento con comandos AT [23]. Una vez configurado se procedió a la programación, lo que presentó varios desafíos debido a que había dos procesadores independientes (el del Arduino y el del ESP-01).

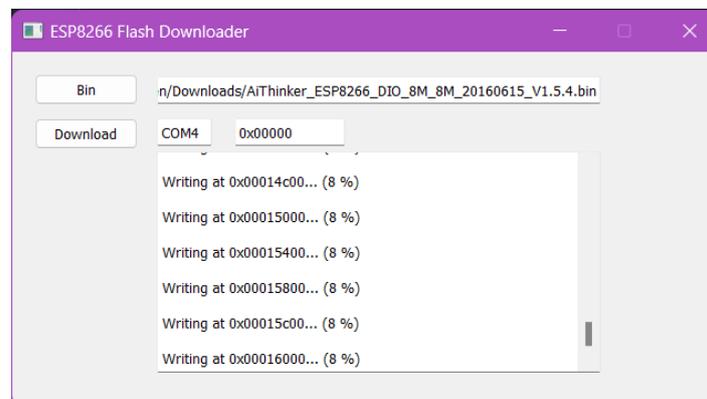


Figura 6.1. Instalación del firmware en el módulo ESP8266 ESP-01

El proceso para cargar el código al ESP-01 tiene varias etapas clave: primero es necesario colocar el Arduino en modo *BOOT* y conectar los cables en modo “programación” [24] (ver Figura 6.2). Después de cargar el código se reinicia el módulo y se cambian los pines a la configuración de “envío” (ver Figura 6.3). Una vez completados estos pasos, tanto la recolección por parte del Arduino como la transmisión de datos por parte del módulo ESP-01 pueden ser ejecutadas correctamente.

6.2 Arquitectura del Software

En la arquitectura del software no solo los módulos y sensores deben poder transmitir información entre ellos, sino que los datos deben enviarse tanto a la aplicación como a MongoDB. Esto implica una programación adecuada tanto del Arduino como de la aplicación móvil.

El primer paso es realizar la mejor medida posible con el Arduino y para ello se realiza un promedio de múltiples lecturas. Las mediciones se almacenan en un array, se ordenan y se eliminan los valores extremos, lo que permite obtener un valor más preciso.

Una vez se ha realizado el promedio, este se envía a través de interfaces seriales a los distintos módulos. En el caso del módulo Bluetooth se utiliza el dispositivo HC-05 para enviar los datos en forma de texto plano. Por otra parte, la aplicación móvil está suscrita a un flujo de datos (*Stream<String>*) que recibe la información en tiempo real desde el módulo.

Si los datos recibidos empiezan por “pH:” u “ORP:” la aplicación extrae los valores, los actualiza y ajusta la interfaz para mostrar los nuevos datos.

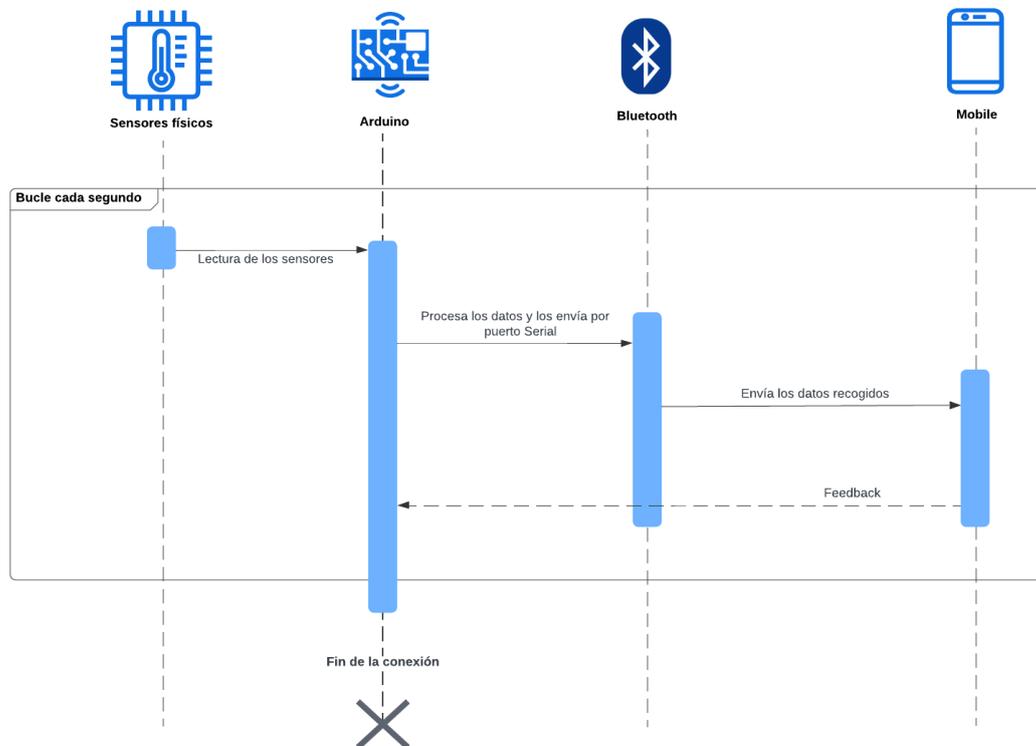


Figura 6.4. Diagrama de secuencia del envío de datos entre los sensores y el dispositivo móvil mediante el protocolo Bluetooth

Por otro lado, el módulo ESP-01 también utiliza interfaces seriales para recibir los datos, pero su manejo es distinto. En este caso, la información se envía directamente a MongoDB mediante solicitudes HTTP en formato JSON, actualizando los valores en tiempo real sin almacenar un historial. A diferencia de la transmisión Bluetooth, estos datos no se visualizan en la aplicación.

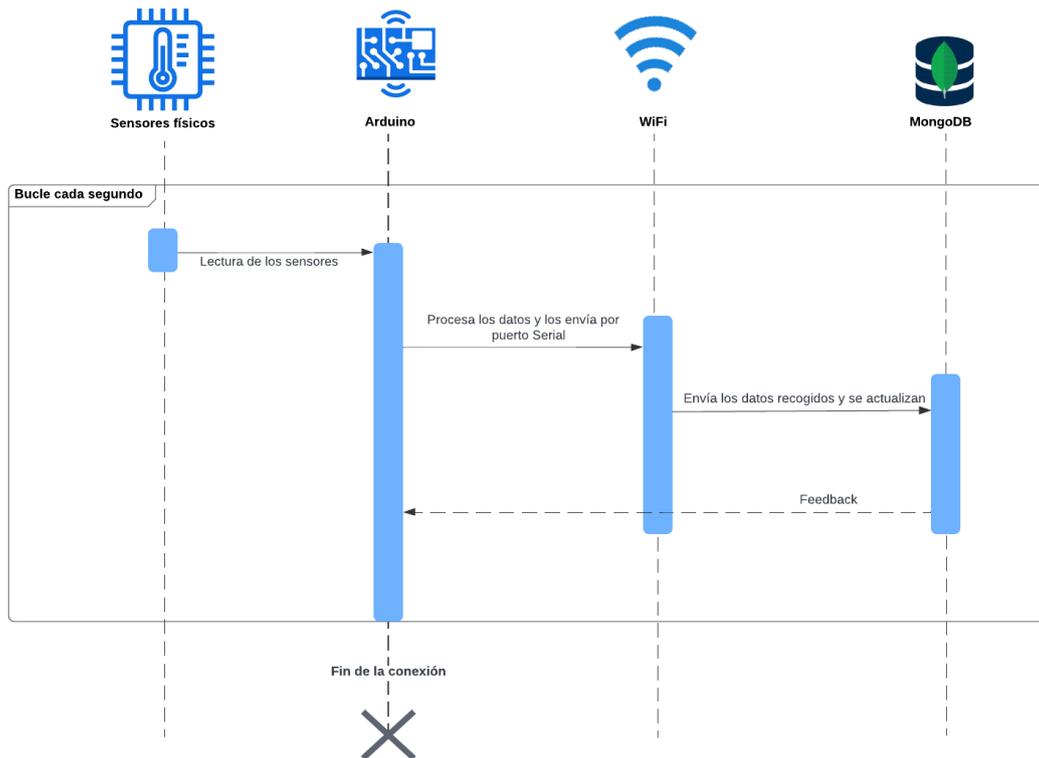


Figura 6.5. Diagrama de secuencia del envío de datos entre los sensores y la base de datos MongoDB

La ausencia de almacenamiento histórico en MongoDB presentó un problema, ya que impedía la creación de gráficas a lo largo del tiempo. Esto se debe a que MongoDB, en el contexto del OCB, únicamente guarda el último valor de cada entidad sin almacenar un historial de cambio.

La solución fue el uso de STH-Comet, un componente de Fiware que permite almacenar las lecturas de los sensores. Sin embargo, este no es perfecto debido a que no permite almacenar una gran cantidad de datos y tienen un tiempo limitado de pocos meses. Debido a estas restricciones se decidió realizar lecturas cada hora y almacenarlas con atributos temporales que incluyen el día, mes, año y hora que se realizó la medición.

Al igual que con MongoDB, los datos se envían a STH-Comet mediante solicitudes HTTP en formato JSON, pero en este caso se usan solicitudes HTTP PUT. Cada hora se almacena un valor de los sensores con su atributo de tiempo, proporcionando un historial limitado pero útil para realizar análisis.

Para que el usuario pueda visualizar estos datos históricos, la aplicación móvil permite crear gráficas realizando solicitudes HTTP al STH-Comet. La aplicación convierte los datos desde JSON en objetos que tienen tanto el valor del sensor como la hora de recepción, y que sirven para crear las gráficas.

Según las opciones elegidas por el usuario, como el día o el valor deseado, se generan las solicitudes y se muestran las gráficas con los datos correspondientes.

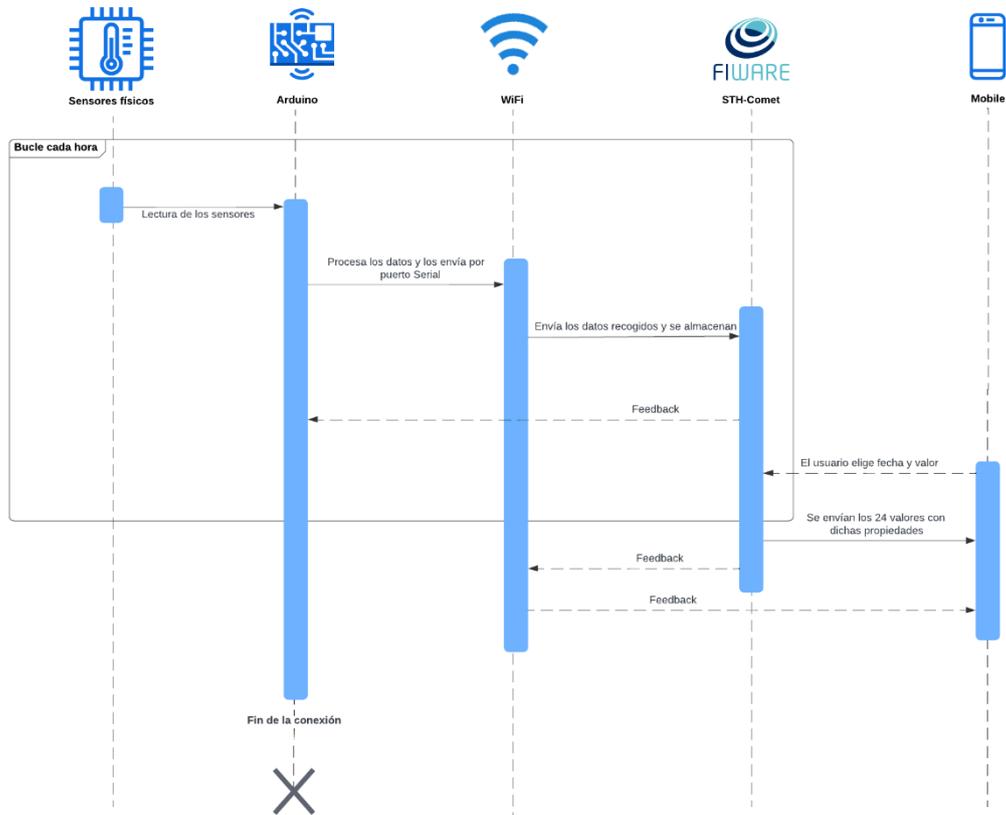


Figura 6.6. Diagrama de secuencia del envío de datos entre los sensores y el dispositivo móvil, con almacenamiento en el STH-Comet de Fiware

Capítulo 7. Comparación con aplicaciones en el mercado

Para el desarrollo de *Pool Check*, se llevó a cabo un análisis de las aplicaciones y sistemas actuales en el mercado para identificar tanto fortalezas como debilidades. En este capítulo, se presentan las referencias, funcionalidades e innovaciones que *Pool Check* introduce.

7.1 Pool Calculator

Pool Calculator es una aplicación móvil que sirve como calculadora de piscinas [25]. Permite al usuario introducir parámetros como el volumen de la piscina, el número de bañistas y el tipo de cloro utilizado, para luego calcular la cantidad exacta de producto químico que se debe añadir en el agua.

Aunque esta funcionalidad es valiosa, lo más destacado es su sección de mantenimiento diario y semanal, así como las soluciones para diferentes problemas. La aplicación presenta la información en bloques que guían al usuario paso a paso, sin embargo la gran cantidad de información en pantalla junto con el uso de lenguaje técnico puede resultar abrumador.

Además, también incluye una sección de mediciones, aunque al ser de pago no se pudo probar su funcionalidad. Se asume que las mediciones deben ingresarse de forma manual, limitando la comodidad y precisión del registro.

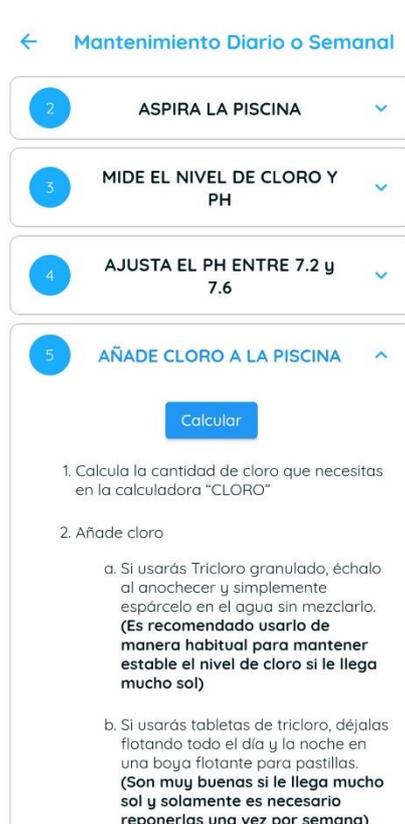


Figura 7.1. Pantalla de inicio de Mantenimiento con un bloque desplegado de Pool Calculator

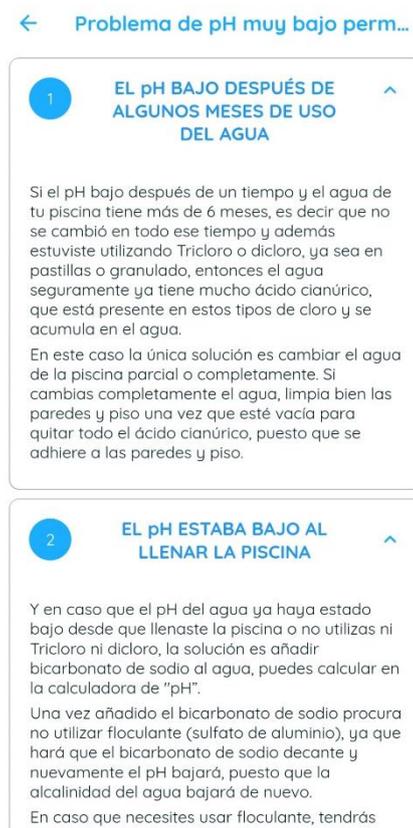


Figura 7.2. Pantalla de inicio de la solución para el pH siempre bajo con los bloques desplegados

7.2 Safepool 365

Safepool 365 es otra aplicación móvil que se destaca por su enfoque en el mantenimiento de piscinas, aunque con menos apartados que *Pool Calculator* [26]. Su punto más fuerte es su presentación clara y accesible, utilizando imágenes y un texto sencillo para guiar al usuario de manera intuitiva.

A diferencia de otras, *Safepool* no tiene una sección de soluciones. Sin embargo, ofrece un servicio técnico a través de videollamadas disponible con un pago adicional, ofreciendo a los usuarios obtener asistencia directa cuando lo necesiten.

El proceso de análisis del agua es más intuitivo que en otras aplicaciones. La aplicación empieza pidiendo varios datos sobre la piscina, como el volumen, la potencia de la bomba y el tipo de piscina, con el objetivo de personalizar las recomendaciones según las características específicas de cada usuario.

Durante el análisis, la aplicación guía al usuario en todos los pasos, incluso en la realización del test químico. En lugar de ingresar los valores exactos, *Safepool* permite seleccionar el color que aparece en la tira reactiva, simplificando el proceso y reduciendo posibles errores.

Al completar el análisis, la aplicación proporciona recomendaciones precisas sobre la cantidad de productos químicos que deben añadirse en el agua, presentando la información de manera clara y visual.



Figura 7.3. Ejemplo de pantalla de Mantenimiento de Safepool



Figura 7.4. Pantalla de Medición de Safepool



Figura 7.5. Pantalla con los resultados del análisis

Por otra parte, los sistemas de dosificación en el mercado suelen venir sin aplicaciones móviles, o estas tienen funcionalidades básicas como la conexión manual de dosificadores o el control de temperatura del agua. El enfoque más común es el uso de dosificadores que muestran los datos a través de pantallas incorporadas, por tanto los usuarios deben confiar en que el sistema funciona correctamente sin poder supervisar los parámetros en tiempo real si no están presentes.

7.3 Automatic pH Doser

Una aplicación con un enfoque parecido a *Pool Check es Automatic pH Doser* [27]. Esta aplicación móvil es bastante simple y parece estar en una fase temprana de desarrollo, sin embargo parece que permite el control de dosificadores a través de sensores conectados por WiFi.

Entre sus funcionalidades destaca la capacidad de ajustar parámetros como la cantidad de pH y el tiempo entre lecturas, incluso permite la dosificación con dos bombas. Aunque la función de dosificación automática parece estar disponible, la falta de información detallada deja ciertas dudas sobre su eficacia y funcionamiento.

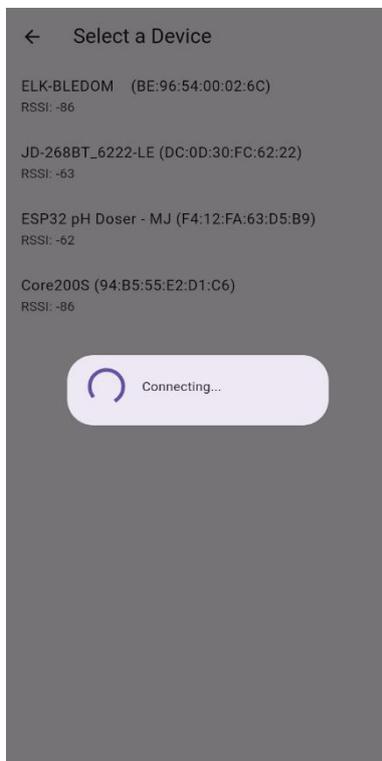


Figura 7.6. Pantalla para la conexión de dispositivos

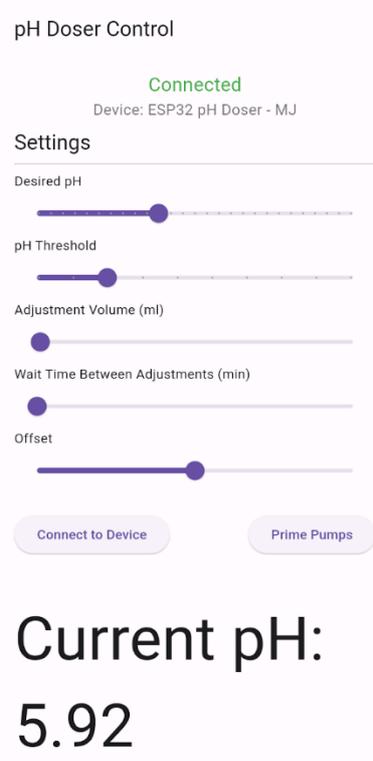


Figura 7.7. Pantalla con las medidas realizadas por los sensores y opciones para seleccionar la configuración

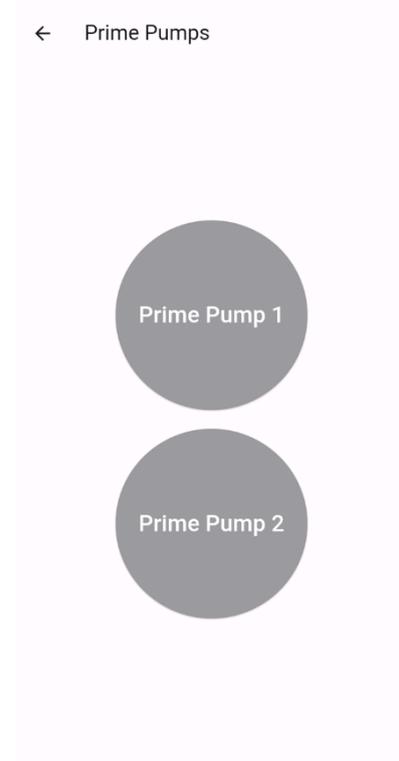


Figura 7.8. Pantalla con interfaz para elegir entre los dos dosificadores

7.4 Soluciones de Alto Costo

Existen soluciones en el mercado que ofrecen funcionalidades parecidas a *Pool Check* con un precio significativamente superior al de este prototipo. Por ejemplo, algunos sistemas avanzados de automatización de piscinas, como los ofrecidos por *Seko*, *Pentair* y *Hayward*, integran sensores IoT que permiten gestionar parámetros del agua en tiempo real a través de aplicaciones móviles.

Sin embargo, estos sistemas suelen tener un costo total mayor, lo que representa una barrera significativa para muchos usuarios. Por tanto, a pesar de la integración avanzada que ofrecen estas soluciones, *Pool Check* proporciona una alternativa más accesible y económica para los usuarios.

REGULADOR DE PH-ORP SEKO POOLDOSE WIFI

NUEVO

786,50 € 850,00 € sin IVA Envío gratuito

Paga en 3 plazos de 262,17€ sin intereses con **PayPal** 0% TAE [Más información](#)

- Equipo de regulación y dosificación Seko para el control de pH y Redox.
- Inyección mediante 2 bombas peristálticas de 1,5W.
- Con conexión wifi (control mediante app).
- Incluye kit completo de instalación.

Referencia: PDPR1H1HAW100

La oferta finaliza el --

1 **añadir al carrito**

¿bizum **VISA** **PayPal**

20 años de experiencia | A partir de 200€ | Mejor calidad a buen precio | Pago 100% Seguro

Figura 7.9. Dosificador de pH y ORP con WiFi de la marca Seko, junto con su precio

Pentair Control system type Speedeo Connect

Product number: 7035814

Price to pay incl. VAT
€ 1,007.93 / 1 pcs

Price to pay excl. VAT
€ 833.00 / 1 pcs

1 in the central warehouse NL

Product number:	Type	Price	Stock	Quantity
7035814	Speedeo Connect	€ 833.00	(1)	0
	Box qty			1 pcs
	MSQ			1 pcs

Total incl. VAT € 0.00
Total excl. VAT € 0.00 **Add to shopping cart**

PENTAIR
TRADEMARK

Figura 7.10. Dosificador de pH y ORP con WiFi de la marca Pentair, junto con su precio

Capítulo 8. Resultados y pruebas

Para evaluar la funcionalidad de la aplicación se realizaron varias pruebas en un entorno controlado, las cuales proporcionaron datos valiosos. Como siguiente paso sería ideal llevar a cabo pruebas en un entorno real, de esta forma se validaría completamente la funcionalidad del sistema.

8.1 Resultados obtenidos

Las primera pruebas se realizaron con los sensores sin calibrar. Aunque esto significaba que los valores no era precisos, la prueba fue crucial para la correcta transmisión y recepción de datos.

En esta fase inicial, los sensores estuvieron sumergidos en agua destilada por tres días, sin calibración, mientras recopilaban datos continuamente. Durante este tiempo, se realizaron conexiones aleatorias mediante Bluetooth para observar los datos en la aplicación móvil y compararlos con los almacenados en MongoDB, que se actualizaba cada segundo.

Los resultados confirmaron que los protocolos funcionaban como se esperaba. Los datos en la base de datos MongoDB se actualizaban correctamente cada segundo, y la aplicación mostraba los datos en tiempo real, ajustando los bloques de forma dinámica según los datos recibidos.

A medida que se acumuló una cantidad suficiente de datos, se realizaron pruebas para visualizar y descargar las gráficas. Los resultados fueron satisfactorios, pues la aplicación permitió la visualización de los valores de pH y ORP en gráficas diarias (ver Figuras 8.1 y 8.2). Como era de esperar, debido a la estabilidad del entorno (sin bañistas y sin factores externos que afectan a los valores químicos), las gráficas mostraban líneas casi rectas.



Figura 8.1. Gráfica de los valores de pH obtenidos el 16/08/2024

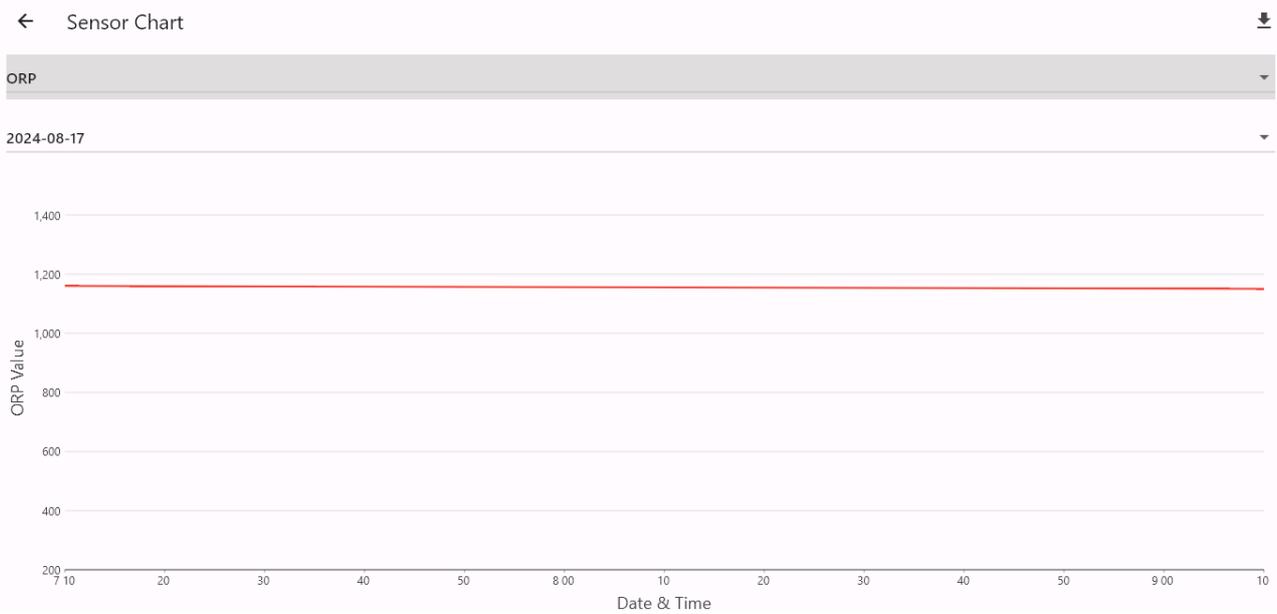


Figura 8.2. Gráfica de los valores de ORP obtenidos el 17/08/2024

Además de mostrar los datos correctamente, la aplicación demostró ser interactiva y fácil de usar. Los usuarios podían desplazarse a lo largo de las gráficas, seleccionar los parámetros de pH y ORP, o elegir los días que querían visualizar. La función de descarga de datos en formato Excel también funcionó sin problemas y los colores de las gráficas cambiaban según los valores, facilitando la interpretación de los datos.

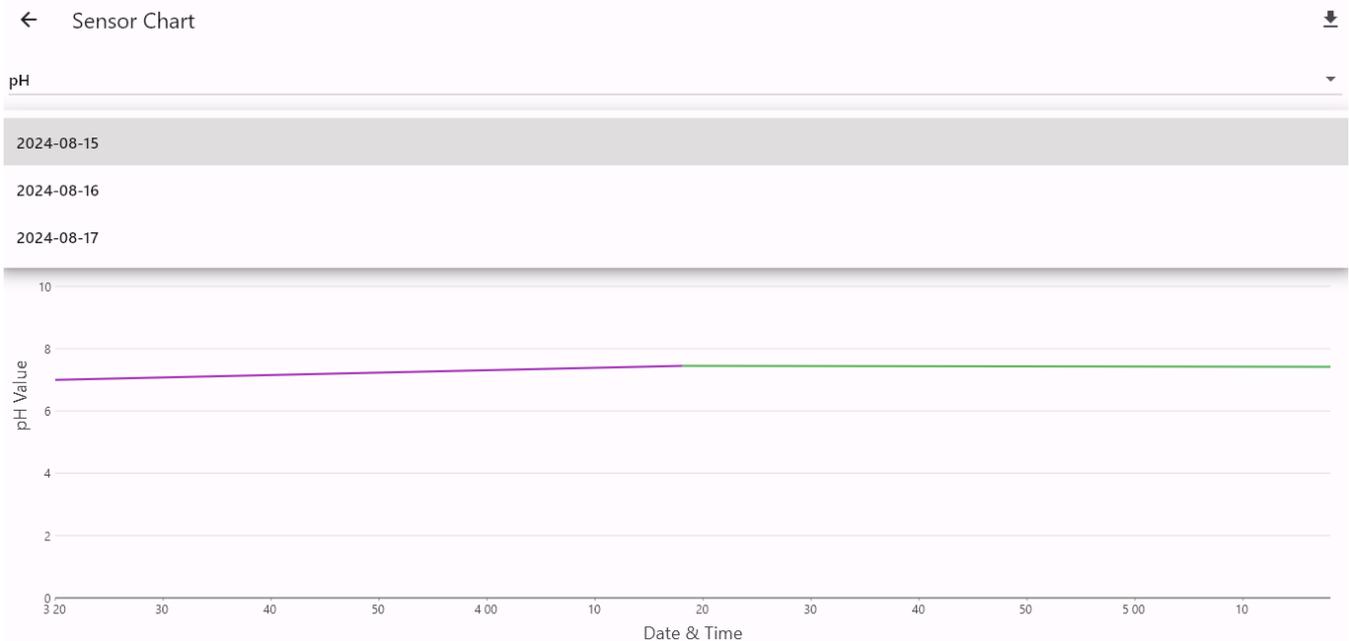


Figura 8.3. Selección de la fecha mediante el desplegable para visualizar las gráficas correspondientes

Después de un tiempo, se realizó una prueba más exigente con los sensores calibrados, en la cual se alternaron entre tres soluciones con diferentes niveles de pH. Además, se modificó el envío de datos, pues en lugar de ser cada hora se transmitieron cada 10 minutos.

Este experimento permitió observar una gráfica con más variaciones en los valores de pH, lo que permitió evaluar la capacidad de respuesta de la aplicación. Al someter los sensores y la aplicación a condiciones más dinámicas y poco predecibles, se simularon escenarios extremos que podrían ocurrir en situaciones reales. Estas acciones garantizan que el sistema sea robusto y funcione correctamente bajo circunstancias extrañas, como ajustes inesperados del usuario.

Los resultados fueron óptimos, demostrando la precisión y estabilidad de los sensores y confirmando que *Pool Check* es capaz de manejar una amplia gama de condiciones en cualquier escenario.

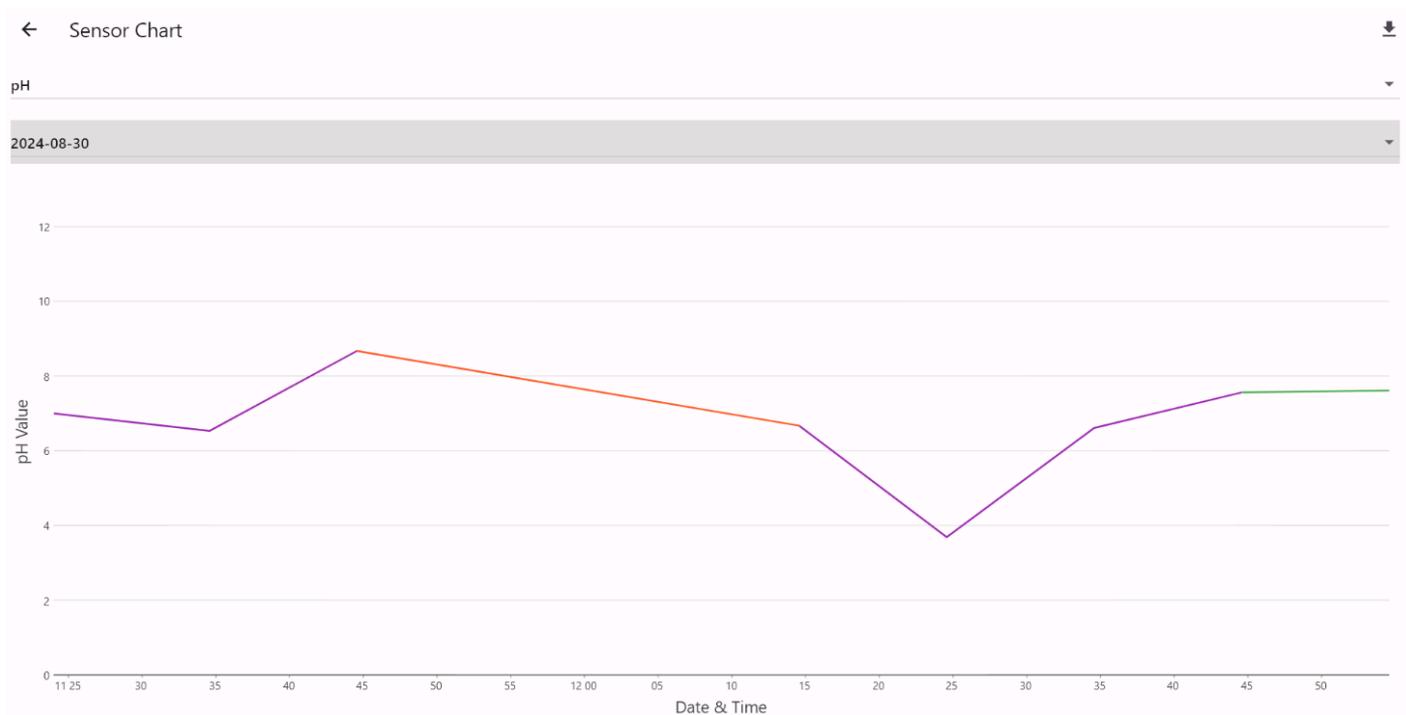


Figura 8.4. Gráfica de pH con datos obtenidos cada 10 minutos, mostrando cambios bruscos en las lecturas

8.2 Problemas encontrados

Durante la fase de pruebas de *Pool Check* se identificaron varios problemas en el sistema, aunque la mayoría fueron resueltos, algunos desafíos técnicos aún permanecen y se abordarán en una próxima fase de perfeccionamiento del prototipo.

Uno de los primeros problemas está en el STH-Comet, que guarda datos cuando los valores recibidos son diferentes a los anteriores. Por ejemplo, si el pH mide 7.4 y se mantiene en ese valor por varias lecturas, no se almacenará ningún nuevo dato. Este hecho es problemático porque los valores de una piscina tienden a permanecer estables durante horas, lo que resulta en una pérdida de información importante. Esta limitación se podría resolver ajustando la configuración del STH-Comet o modificando la suscripción POST.

Otro problema menos crítico está relacionado con la descarga de datos en formato Excel. Para acceder a la página de Gráficas, es necesario desactivar el cortafuegos del PC donde se ejecuta Docker Desktop. Una vez hecho esto, el usuario puede seleccionar los parámetros deseados y descargar el archivo de datos. Sin embargo, el formato de fecha en el archivo Excel es difícil de entender para el usuario final.

Actualmente se usa el formato ISO 8601, el cual es el estándar en sistemas de bases de datos, pero no es fácilmente comprensible para los usuarios [28]. Este formato incluye la fecha, la hora (en hora, minutos, segundos y milisegundos) y separadores como la “T” y la “Z” que indica que la hora está en UTC (Tiempo Universal Coordinado).

Una posible solución es modificar el código de descarga del archivo Excel para convertir automáticamente las fechas a un formato más común y accesible para los usuarios, lo que facilitaría el análisis de los datos.

	A	B	C
1	Date	Value	
2	2024-08-30T09:24:30.765Z	7.0	
3	2024-08-30T09:35:04.720Z	6.53	
4	2024-08-30T09:45:04.783Z	8.67	
5	2024-08-30T10:15:04.939Z	6.67	
6	2024-08-30T10:25:05.005Z	3.69	
7	2024-08-30T10:35:05.063Z	6.61	
8	2024-08-30T10:45:05.119Z	7.56	
9	2024-08-30T10:55:05.147Z	7.61	
10			
11			
12			

Figura 8.5. Datos descargados de la gráfica de la Figura 8.4, con la fecha en formato ISO 8601 y una falta de datos entre las 9:45 hasta las 10:15 debido a una lectura sin cambios

8.3 Nivel de madurez TRL

El TRL o *Technology Readiness Level* es un concepto muy común en el ámbito de la innovación, ya que sirve para evaluar lo preparada que está una tecnología antes de su uso generalizado [29]. La evaluación TRL permite determinar en qué etapa se encuentra una tecnología mediante niveles que van desde la investigación básica (TRL 1) hasta la implementación en el mercado (TRL 9).

En el caso de *Pool Check*, el nivel de madurez tecnológica ha sido evaluado en base a las pruebas realizadas y el desarrollo actual de la aplicación.

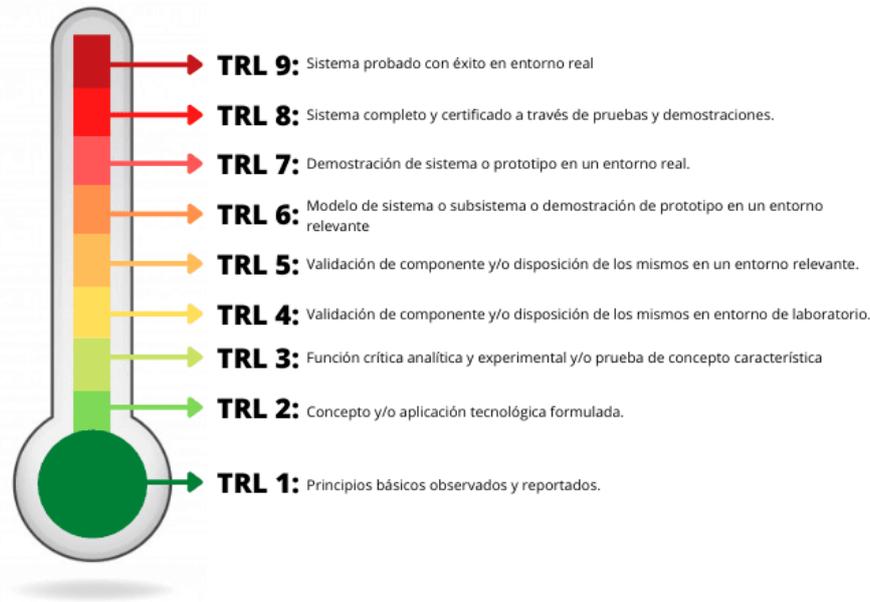


Figura 8.6. Diagrama de los distintos niveles de madurez tecnológica (Ayming 2021)

Pool Check actualmente se encuentra en un nivel TRL 4, lo que indica que se ha completado la validación de los componentes en un entorno controlado. Durante las pruebas realizadas, los sensores y el sistema de comunicación IoT han demostrado funcionar correctamente en condiciones simuladas. No obstante, al no haber realizado pruebas en un entorno real su clasificación ha sido limitada.

El TRL 4 asegura que los componentes individuales funcionan de manera integrada dentro de un sistema. Sin embargo, la diferencia entre el nivel 4 y 5 requiere un aumento de la fidelidad tanto del sistema como del entorno.

Para avanzar será necesario realizar pruebas adicionales en entornos reales. Estas pruebas permitirán validar el funcionamiento del sistema bajo condiciones no controladas como la temperatura, el uso de la piscina o las condiciones del agua.

8.4 Código

En este documento no se ha incluido una explicación detallada del código, pues se consideró más importante enfocarse en la arquitectura general y los dispositivos utilizados. Es esencial comprender la estructura y el funcionamiento del sistema, mientras que el código es la parte técnica que lo respalda.

Sin embargo, para aquellos interesados que quieran explorar la implementación técnica, se ha creado un repositorio público en GitHub con todo el código utilizado en el proyecto. El repositorio está organizado en tres carpetas principales: Flutter, Fiware y Arduino.

Se puede acceder al repositorio a través del siguiente enlace: <https://github.com/jdomdeu/Pool-Check.git>

Capítulo 9. Futuro de la aplicación

El futuro de *Pool Check* presenta una gran cantidad de oportunidades por explorar, y en este capítulo se analizan las posibles direcciones que puede tomar el desarrollo de la aplicación. No solo se tiene pensado mejorar los problemas existentes, sino también incorporar nuevas funcionalidades y tecnologías que permitan convertir *Pool Check* en una aplicación notable dentro del mercado.

9.1 Mejoras

Antes de profundizar en las futuras posibilidades de la aplicación, es importante destacar las mejoras necesarias para que la aplicación pueda tener un impacto significativo en el mercado.

9.1.1 Problemas Existentes

Como se ha detallado en capítulos anteriores, se han podido encontrar algunos problemas que aunque no impiden el funcionamiento de la aplicación, sí limitan su eficacia y afectan la experiencia del usuario. Es esencial abordar los problemas relacionados con la pérdida de datos durante las mediciones constantes y el cambio de formato de fechas en los archivos Excel.

Solucionar estos inconvenientes garantizará que la aplicación funcione de manera óptima y ofrezca una experiencia de usuario fluida y precisa.

9.1.2 Dosificadores

El objetivo principal de *Pool Check* es alcanzar una automatización lo más completa posible, lo cual requiere la implementación de dosificadores como parte del sistema. Estos dispositivos son los encargados de añadir productos químicos, como el reductor de pH o el cloro líquido a la piscina sin intervención humana.

Aunque aún no se ha realizado un estudio exhaustivo, las bombas dosificadoras peristálticas parecen ser la mejor opción debido a su compatibilidad química y precisión en la dosificación de pequeñas cantidades.

El funcionamiento es relativamente sencillo y eficiente. Cuando los sensores de *Pool Check* detectan un desajuste químico, envían una señal al dosificador. Este deberá conocer de antemano el volumen de la piscina, y a través de algoritmos se calculará la cantidad necesaria basada en los valores de los sensores.

El dosificador peristáltico funciona mediante una manguera situada dentro de una carcasa, la cual es comprimida por rodillos unidos a un rotor giratorio [30]. Este movimiento giratorio estrangula la manguera en puntos específicos, creando una presión que empuja el líquido desde el depósito hacia la bomba. El volumen bombeado se ajusta en función de la velocidad del rotor y el tiempo de operación.

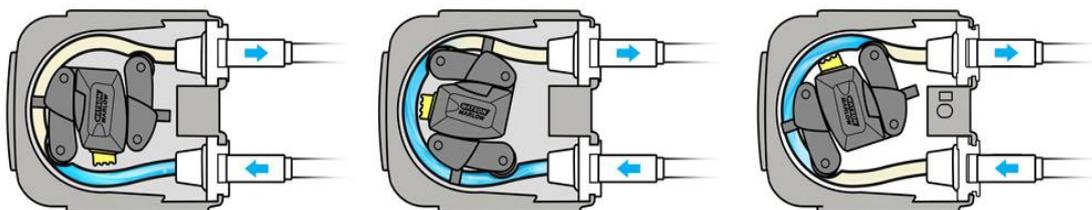


Figura 9.1. Diagrama del funcionamiento de una bomba dosificadoras peristáltica (Debem 2019)

9.1.3 Almacenamiento

Un problema importante que enfrenta actualmente *Pool Check*, es la limitación en el almacenamiento de datos recibidos por los sensores. Esta limitación ha llevado a tener que ajustar el intervalo de recepción de datos en el STH-Comet a una vez por hora, resultando en una recopilación total de 24 muestras diarias. Además, el almacenamiento es temporal, conservando los datos por solo unos pocos meses.

Debido a estas restricciones, es esencial desarrollar una solución de almacenamiento que ofrezca una mayor capacidad y permita almacenar los datos por mucho más tiempo. Con un sistema de almacenamiento mejorado, sería posible crear gráficas con una mayor cantidad de datos y capturar más variaciones a lo largo del día, sin el riesgo de quedarse sin espacio. Esto también permitirá a los usuarios analizar datos históricos sin preocuparse de que se borren a los pocos meses.

Además de mejorar el almacenamiento, también es necesario solucionar el problema de la visualización de gráficos en dispositivos móviles. Es crucial proporcionar una comprensión clara sin necesidad de descargar los datos, por tanto se debe considerar realizar ajustes en el formato de las gráficas.

9.1.4 Avisos en tiempo real

El hecho de haber usado MongoDB para el almacenamiento de datos ha sido fundamental para facilitar futuras mejoras, como la implementación de avisos en tiempo real desde cualquier parte del mundo mediante una conexión WiFi. Actualmente, la recepción de datos solo funciona cuando el dispositivo móvil está en la misma red que el servidor, aunque se plantea expandir esta funcionalidad para permitir el control remoto desde cualquier red.

MongoDB no solo asegura que los datos estén siempre actualizados, sino que también proporciona la base para el envío de alertas inmediatas cuando surgen problemas. Esto es crucial para que los usuarios puedan monitorear los valores de la piscina y realizar acciones, como reponer los productos químicos cuando se agotan, cambiar los sensores o ajustar la temperatura de la piscina sin importar la ubicación.

Además, la capacidad de MongoDB para manejar estos datos en tiempo real es clave para notificar al usuario sobre el proceso de dosificación automática, asegurando que el usuario está al tanto de las acciones que se llevan a cabo en todo momento.

9.1.5 Implementación de IA

Una mejora significativa para llevar *Pool Check* a un nuevo nivel sería la incorporación de Inteligencia Artificial (IA). Mediante el uso de algoritmos de aprendizaje automático, la IA puede identificar patrones en los datos y anticipar problemas antes de que se conviertan en fallos críticos. Esto permitiría al sistema realizar ajustes automáticos mediante el dosificador, optimizando la dosificación de productos químicos y mejorando el mantenimiento.

La IA también podría ser utilizada para el desarrollo de un asistente virtual en *Pool Check*. Este asistente proporcionaría ayuda inmediata y recomendaciones basadas en los datos recopilados, guiando al usuario para solucionar el problema.

La base de datos de MongoDB sería clave para alimentar este sistema de IA con información actualizada en tiempo real, garantizando que las decisiones y recomendaciones se basen en datos precisos y recientes.

9.1.6 Seguridad

La seguridad es un pilar fundamental en cualquier proyecto IoT, y *Pool Check* no es la excepción. Aunque en esta fase inicial se ha priorizado la funcionalidad y la realización de pruebas robustas, la seguridad es un aspecto crucial que debe plantearse en futuras actualizaciones para conseguir la confianza de los usuarios.

A primera vista, la protección de datos como los niveles de pH o cloro de una piscina pueden parecer insignificantes. Sin embargo, una brecha de seguridad podría permitir la manipulación de estos valores para dañar el sistema o incluso interferir con información más sensible. Por ejemplo, un largo período de desequilibrio en los niveles de pH podría indicar la ausencia de los propietarios, exponiéndolos a riesgos de seguridad importantes.

En el futuro, se implementarán medidas avanzadas de seguridad para proteger la integridad de los datos y la privacidad de los usuarios. Estas medidas incluirán la encriptación de datos, un sistema de autenticación robusto y el monitoreo de la red para detectar amenazas. Un ejemplo concreto de las mejoras previstas se puede basar en el uso de certificados de encriptación asimétrica (clave pública-privada) para asegurar las comunicaciones sobre HTTP cuando se realicen fuera de la red local.

9.2 Posibilidades

En este apartado se consideran futuras posibilidades para este proyecto. Estas no se presentan como mejoras, sino como acciones que podrían amplificar el impacto de la aplicación.

9.2.1 Nuevos sensores

La arquitectura del proyecto basada en tecnología IoT, facilita la integración de nuevos sensores de manera sencilla. Con solo crear nuevas entidades que reciban los datos de estos sensores, suscribirse al STH-Comet y realizar ajustes en la interfaz de la aplicación, sería posible añadir sensores sin realizar cambios estructurales.

Este enfoque permitiría a los usuarios añadir nuevos sensores según sus necesidades. Por ejemplo, un sensor de temperatura para el agua de la piscina sería interesante no solo para mantener la temperatura adecuada, sino también para estudiar la relación entre la temperatura del agua y los niveles de pH y cloro.

Otra opción sería la incorporación de sensores TDS (Sólidos Disueltos Totales) para medir la calidad general del agua. Estos sensores indican la limpieza del agua al medir cuantos miligramos de sólidos disueltos están presentes en un litro de agua. Aunque es una solución específica, puede ser muy útil para usuarios que desean un control más preciso de la calidad del agua.

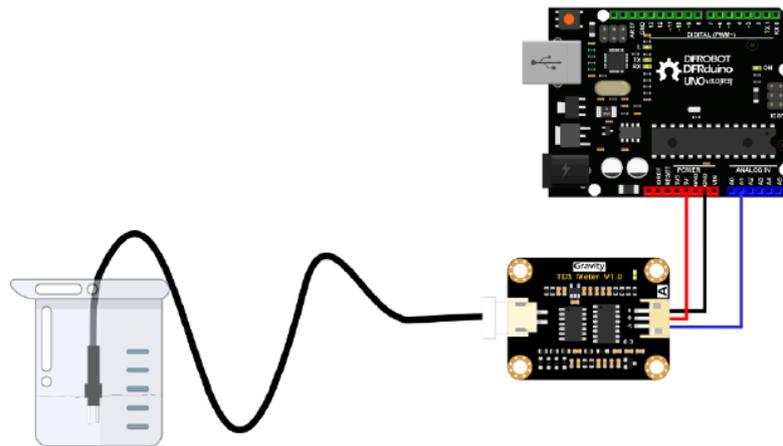


Figura 9.2. Diagrama de conexión de un sensor TDS a una placa Arduino (Mercadolibre 2021)

Aunque las posibilidades son amplias, otro sensor que podría ser útil es un sensor de nivel de agua. Este tipo de sensor permite detectar pérdidas inusuales, como fugas o evaporación excesiva, que pueden afectar negativamente al equilibrio químico de la piscina. Una rápida detección es crucial para evitar una concentración excesiva de productos químicos en el agua, pudiendo dañar tanto a la piscina como a los bañistas. Además, integrar estos sensores podría permitir la automatización de procesos como la activación de sistemas de relleno automático.

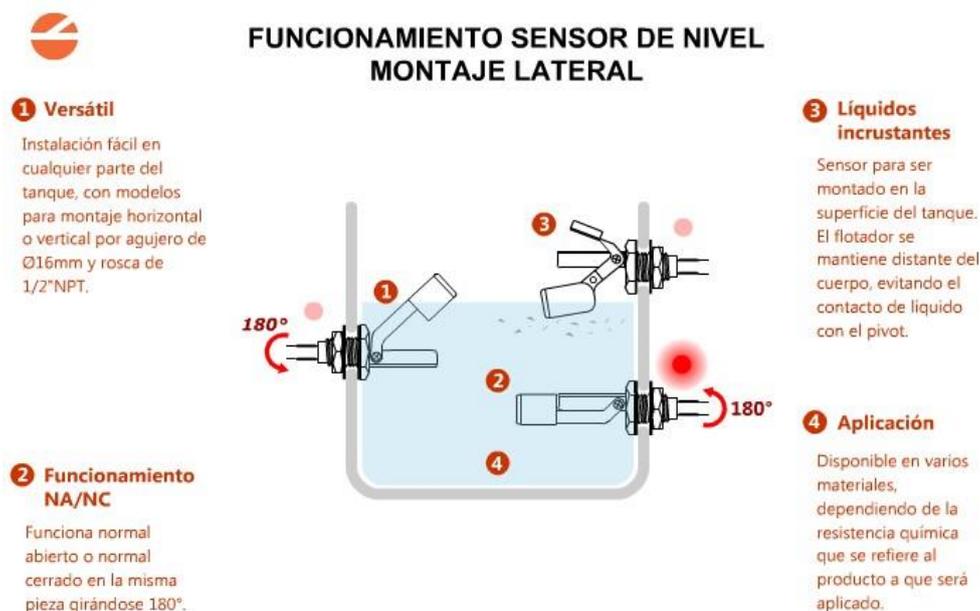


Figura 9.3. Diagrama del funcionamiento de sensores de nivel (Eicos Sensores 2017)

9.2.2 Salida al mercado

La posibilidad de comercializar *Pool Check* es una opción atractiva, pero requiere un análisis detallado para asegurar su éxito. Aunque el sistema ha demostrado funcionar correctamente y cuenta con propuestas innovadoras, se necesitan más acciones para considerar su lanzamiento al mercado.

Los principales atractivos son su personalización, experiencia de usuario y bajo costo de producción. Con un costo estimado de menos de 70 euros para los dispositivos involucrados, el producto se posiciona como una opción competitiva frente a otras en el mercado. Sin embargo, este costo inicial debe evaluarse cuidadosamente teniendo en cuenta los gastos en soporte técnico, mantenimiento y marketing, que podrían impactar en el precio final.

Antes de proceder con la comercialización, es fundamental desarrollar un modelo de negocio sólido. Esto incluye realizar un estudio de mercado exhaustivo para investigar la demanda del producto y entender las necesidades de los potenciales usuarios, además es crucial realizar pruebas en entornos reales para asegurar la estabilidad y fiabilidad del sistema.

Es igualmente importante definir un plan de producción para la selección de proveedores, el control de calidad y muchos otros aspectos. Incluso se debe establecer una estrategia de monetización y publicidad efectiva, considerando los costos y oportunidades en el mercado.

Por último, se debe evaluar el entorno regulatorio y las posibles barreras de entrada en el mercado, como las certificaciones de seguridad y las normativas sobre el uso de tecnología IoT en sistemas de automatización de piscinas.

9.2.3 Ecosistema de aplicaciones

Como se mencionó al inicio del capítulo, la facilidad para integrar nuevos sensores en la arquitectura de *Pool Check* abre una serie de oportunidades para expandir el alcance de la aplicación más allá del mantenimiento de piscinas. Por tanto, la aplicación podría tratar diversas necesidades en distintos mercados relacionados con la calidad del agua.

La principal ventaja se encuentra en su capacidad para adaptarse a distintos contextos mediante nuevos sensores y ajustes en la interfaz. Aunque el enfoque inicial está en el mantenimiento de piscinas, no es necesario limitarse, pues la aplicación puede adaptarse para el mantenimiento de acuarios y peceras abriendo nuevas oportunidades.

Además, la aplicación podría seguir extendiéndose a otros sectores, como el monitoreo de la calidad del agua potable. Mediante el uso de sensores específicos es posible medir los contaminantes comunes en el agua potable y ofrecer una herramienta para asegurar un suministro seguro a los usuarios.

Otro campo potencial es la agricultura, donde la calidad del agua es crucial para el riego y el crecimiento saludable de las plantas. Sensores de TDS, nutrientes y otros parámetros podrían adaptarse para proporcionar a los agricultores información detallada sobre el agua que usan.

La ventaja de crear múltiples aplicaciones con la misma estructura, permite el crecimiento y diversificación de la marca. Desarrollar distintas aplicaciones para estos sectores establecería a *Pool Check* como un líder en la gestión de la calidad del agua en varios contextos. Sin embargo, es fundamental realizar estudios de mercado específicos y adaptar la aplicación en consecuencia.

Capítulo 10. Bibliografía

- [1] Historia IoT – DETRI – Escuela Politécnica Nacional. (s. f.). Recuperado 11 de agosto de 2024, de <https://detri.epn.edu.ec/historia-iot/>
- [2] Baena, M. R. (2021, junio 16). Origen e historia del Internet de las Cosas. App&Web. <https://www.appandweb.es/blog/origen-historia-internet-de-las-cosas/>
- [3] Historia de internet. (s. f.). Recuperado 11 de agosto de 2024, de <https://www.fib.upc.edu/retro-informatica/historia/internet.html>
- [4] Secure, A. (2023, febrero 8). Historia del Internet de las Cosas. AlaiSecure - España. <https://alaisecure.es/historia-del-internet-de-las-cosas/>
- [5] Historia y evolución del Internet de las Cosas (IoT) | Tokio. (s. f.). Tokio School. Recuperado 11 de agosto de 2024, de <https://www.tokioschool.com/noticias/internet-de-las-cosas-evolucion/>
- [6] EXXN. (2023, enero 11). EXXN Technology—¿Qué es una pasarela IoT? EXXN Technology. <https://exxn.es/que-es-una-pasarela-iot/>
- [7] admin. (2018, julio 31). Componentes básicos para diseñar un proyecto de IoT exitoso. IOTSENS. <https://www.iotsens.com/componentes-basicos-disenar-proyecto-iot-exitoso/>
- [8] What Are IoT Gateways? Exploring Insights from Simbase. (s. f.). Simbase. Recuperado 12 de agosto de 2024, de <https://es.simbase.com/blog/what-are-iot-gateways>
- [9] admin. (2018, julio 31). Componentes básicos para diseñar un proyecto de IoT exitoso. IOTSENS. <https://www.iotsens.com/componentes-basicos-disenar-proyecto-iot-exitoso/>
- [10] IoT: Tecnologías, aplicaciones, estado actual y futuro | OpenWebinars. (s. f.). OpenWebinars.net. Recuperado 12 de agosto de 2024, de <https://openwebinars.net/blog/iot-tecnologias-aplicaciones-estado-actual-y-futuro/>
- [11] Coruña, O. A. A. (2022, septiembre 1). Las tecnologías de la actualidad: IoT como solución aplicable a cualquier negocio. AceleraPYME ITG. <https://acelerapyme.itg.es/las-tecnologias-de-la-actualidad-iot-como-solucion-aplicable-a-cualquier-negocio/>
- [12] Agricultura de Precisión. (2022, noviembre 11). Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió. <https://www.grap.udl.cat/es/presentacio/que-fem/agricultura-de-precisio/index.html>
- [13] guilherme. (2022, septiembre 12). AWS IoT: Comprensión del Internet de las cosas de Amazon Web Services. Flexa. <https://flexa.cloud/es/que-es-aws-iot/>
- [14] ¿Cómo leer las tiras reactivas de pH? - Royal Brinkman. (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2024, de <https://royalbrinkman.es/centro-de-conocimiento/proteccion-de-cultivo-y-desinfeccion/como-leer-las-tiras-reactivas-de-ph>
- [15] Vida util de una sonda PH? (2011, agosto 15). TodoMarino - Foro de acuariología marina. <https://todomarino.com/comunidad/temas/vida-util-de-una-sonda-ph.78673/>

- [16] SEN-TECH. (s. f.). PH sensor PH-4502C. <https://cdn.awsli.com.br/969/969921/arquivos/ph-sensor-ph-4502c.pdf>
- [17] Xenia. (2024, mayo 17). Guía para calibrar la sonda ORP y pH. Blog. <https://blog.tienda-piscinas.net/calibrar-sonda-de-ph-y-orp-piscina/>
- [18] Todo lo que necesita saber sobre el mantenimiento o invernada de las sondas de pH y Redox. (s. f.). Recuperado 19 de agosto de 2024, de <https://ph-redox-pool.com/es/content/11-todo-lo-que-necesita-saber-sobre-el-mantenimiento-o-invernada-de-las-sondas-de-ph-y-redox>
- [19] How to use and calibrate DFRobot Analog ORP Sensor Meter for Arduino. (s. f.). Recuperado 18 de agosto de 2024, de <https://www.theamplitudhedron.com/articles/How-to-use-and-calibrate-DFRobot-Analog-ORP-Sensor-Meter-for-Arduino/>
- [20] ¿Cuánto debe durar una sonda de pH o de Redox? (2020, mayo 13). TEKTHINGS. <https://www.tekthings.com/cuanto-debe-durar-una-sonda-de-ph-redox/>
- [21] Que es el ORP? Potencial de oxidación y reducción. (s. f.). Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://blog.orendatech.com/es/entendiendo-orp>
- [22] reserved, M.-T. I. I. all rights. (s. f.). Sensores de pH. Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://www.mt.com/es/es/home/products/solutions/ph-sensors.html>
- [23] admin. (2015, septiembre 18). ESP8266 ESP-01 Firmware Update | ELEC-CAFE.COM. <https://www.elec-cafe.com/esp8266-esp-01-firmware-update/>
- [24] Guía para configurar un ESP-01, el módulo WiFi basado en ESP8266. (2017, enero 31). <https://programarfacil.com/podcast/como-configurar-esp01-wifi-esp8266/>
- [25] Pool Chemical Calculator—Apps on Google Play. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2024, de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.poolchemicalcalculator.poolcalc&hl=en_US
- [26] Mantenimiento de tu piscina—Apps on Google Play. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2024, de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lmd.SafePool365.Mobile&hl=en_US
- [27] Automatic pH Doser—Apps on Google Play. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2024, de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.automaticphdoser.app&hl=en_US
- [28] ISO 8601: Expresiones temporales inequívocas. (2022, noviembre 29). IONOS Digital Guide. <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/iso-8601/>
- [29] mrobleslopez. (2021, agosto 2). ¿Qué son TRL (Technology Readiness Levels)? Ayming España. <https://www.ayming.es/insights-y-noticias/noticias/trl-technology-readiness-levels/>
- [30] Bombas dosificadoras ¿Qué son y cómo funcionan? - Carbotecnia. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2024, de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/bombas-de-agua/bombas-dosificadoras/>