

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Ingeniería Electrónica
Proyecto de Grado

Sistema electrónico basado en IoT para la obtención y el análisis de datos respecto al consumo y la calidad del agua potable en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali.

Nicolás Ramírez Restrepo

Director: Dr. Alexánder Martínez Álvarez
Codirector: MSc. Manuel Vicente Valencia Díaz
Director de Carrera: Dr. Luis Eduardo Tobón Llano

23 de julio de 2021



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Santiago de Cali, Julio 23 de 2021.

Dr.

Luis Eduardo Tobón

Director de la Carrera de Ingeniería Electrónica
Pontificia Universidad Javeriana Cali

Cordial saludo,

Me permito presentar mi trabajo de grado “**Sistema electrónico basado en IoT para la obtención y el análisis de datos respecto al consumo y la calidad del agua potable en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali.**” a la facultad de Ingeniería y Ciencias para la asignación de evaluadores y definición de fecha de sustentación, con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para optar por el título de Ingeniero Electrónico.

Cordialmente,



Nicolás Ramírez Restrepo

Estudiante de Ingeniería Electrónica
8918235

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Santiago de Cali, 23 de julio de 2021.

Doctor.

Luis Eduardo Tobón

Director de la Carrera de Ingeniería Electrónica


Pontificia Universidad Javeriana Cali

Cordial saludo,

Por medio de la presente nos permitimos informarle que Nicolás Ramírez Restrepo, estudiante de Ingeniería Electrónica, trabajó bajo nuestra dirección en el proyecto de grado titulado “**Sistema electrónico basado en IoT para la obtención y el análisis de datos respecto al consumo y la calidad del agua potable en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali**”.

Después de revisar el documento resultante de este trabajo se evidencia el cumplimiento de los objetivos propuestos en el anteproyecto correspondiente y, por esta razón, consideramos que el trabajo de grado está listo para ser sustentado.

Atentamente,



Alexánder Martínez Álvarez

Director



MSc. Manuel Vicente Valencia Díaz

Codirector



Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería Electrónica

Fecha: 08 de septiembre de 2021

Autor: Nicolás Ramírez Restrepo

Nombre del Proyecto de Grado: Sistema electrónico basado en IOT para la obtención y análisis de datos respecto al consumo y la calidad del agua potable en la Pontificia Universidad Javeriana Cali

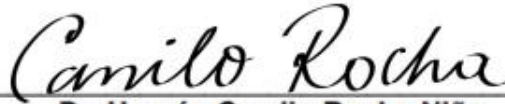
Director: Dr. Alexander Martínez Álvarez

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que el estudiante indicado arriba ha implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

Alexánder Martínez Álvarez
Director del Proyecto de Grado

Nota de Aceptación

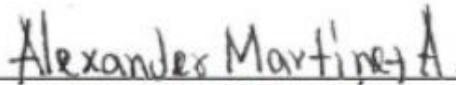
Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar el título de Ingeniero Electrónico.



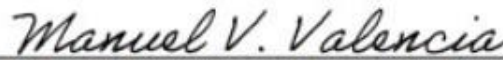
Dr. Hernán Camilo Rocha Niño
Decano de la Facultad de Ingeniería



Dr. Luis Eduardo Tobón Llano
Director Carrera Ingeniería Electronica.



Dr. Alexander Martínez Alvarez
Director Trabajo de grado



M.Sc. Manuel Vicente Valencia Díaz
Co-Director Trabajo de grado



Dr. Eugenio Tamura Morimitsu
Jurado 1



Dr. Dimas Mavares Terán
Jurado 2

Agradecimientos

Agradezco especialmente al Ingeniero Yoan Mejía, de Omnicon S.A, quien estuvo asesorando este proyecto de grado para que uno de los objetivos principales fuese posible, con sus ideas fue posible escalar este proyecto de grado a un nivel más avanzado hasta el punto de compararlo con una solución aplicable en la industria. Se agradece al Ingeniero Guillermo Guerrero, de Unilever HPC Palmira quien aportó información para realizar una comparación de costos de la solución aquí planteada con una solución comercial industrial.

Agradezco a mis familiares, a Cesar Julián Ramos Salazar, al director y codirector del trabajo de grado quienes me ayudaron, motivaron y vieron una gran posibilidad de ingeniería en la idea propuesta. También agradecimientos a la empresa donde realizo la práctica profesional Unilever HPC Palmira, lugar en donde adquirí una mayor visión de ingeniería para observar más panoramas y condiciones al momento de desarrollar el proyecto de grado.

Resumen

En la Pontificia Universidad Javeriana Cali desde hace unos años existe el enfoque por cuidar más el único recurso de agua que tiene la Universidad extraído desde una derivación del río Pance para uso dentro del campus, este enfoque ha llevado a la Universidad a crear programas como PUEAA (Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua) que buscan gestionar el uso de agua potable dentro de la Universidad, esto con el propósito de evitar usar más agua de la debida para no afectar al medio ambiente y de asegurarse de abastecer a todo el personal de la Universidad. Para realizar esta gestión del recurso hídrico es necesario obtener datos y caracterizar el consumo de agua, por lo que la Universidad decidió adquirir medidores analógicos sin conexión a la red para llevar registros de consumo de agua y medidores de calidad de agua, esto implica que el proceso de registro de datos dependa de un operario, lo que en ocasiones ha ocasionado errores en el registro manual de datos que desencadenan en una base de datos para gestionar el recurso hídrico imprecisa. Además, y lo que es más importante, el hecho de seguir usando esta metodología de adquisición de datos genera un riesgo debido a que, si existe un sobre consumo, una fuga grave, o un problema con la calidad que podría de salud pública, la Universidad no tiene como saber esto hasta que se haga más evidente el problema y sea tarde para evitar pérdidas o hasta que el operario se desplace hasta el lugar de las mediciones y observe la irregularidad.

Después de analizar esta problemática, se plantea un monitoreo continuo y remoto de las variables de consumo y calidad de agua potable, para así tener un registro de datos con una mayor confiabilidad, datos en tiempo real, la oportunidad de tomar acciones rápidas, más tiempo para que los operarios ejecuten otras actividades y una base de datos para poder tomar decisiones que estén enlazadas con un beneficio para la Universidad.

Viendo este panorama se ejecutó el desarrollo tecnológico de una solución de bajo costo, pero con la mayoría de los beneficios que tiene una solución robusta de monitoreo remoto. El desarrollo se compone de un microcontrolador que mediante módulos y sensores permiten registrar datos de consumo y calidad de agua en una plataforma web o en unos servidores web, ofreciendo un método innovador con respecto a otras soluciones que se asemejan. La propuesta aquí planteada trabaja como un sistema de monitoreo industrial, permitiendo ahorrar a la Universidad más de nueve millones de pesos colombianos analizando solo la instalación de un medidor. Esta solución no solo se queda en monitoreo de variables de agua, sino que abre las puertas a en un futuro, implementar un control a todo el sistema de abastecimiento de agua potable en la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Abstract

This project is about remote monitoring of water consumption in the Pontificia Universidad Javeriana Cali. A year ago (2020), the University bought water consumption meters and installed them in each building on the campus, this solution brought the benefit of having data of water consumption but, it depends on a worker who must go to each water consumption meter to write the data in paper or a cellphone and, after that, someone else must write the data in a database. This procedure could introduce several disadvantages, such as impression in data and the difficulty to make quick decisions in cases like overconsumption or leaks. Analyzing the procedure at the Pontificia Universidad Javeriana Cali for monitoring water quality is the same as monitoring water consumption. The solution proposed in this project involves the creation of a remote monitoring system of quality and water consumption, using technologies related to IoT and Industrial Automation like OPC Servers linked with Energy Metrix (Energy Metrix is a server distributed from Rockwell Automation and, is already installed at the University).

The development consists of a microcontroller that, through modules and sensors, allows the recording of water consumption and quality data on a web platform or on web servers, offering an innovative method with respect to other similar solutions. The proposal presented here works as an industrial monitoring system, allowing the University to save more than nine million Colombian pesos by analyzing only the installation of a meter. This solution not only remains in monitoring of water variables, but opens the doors to in the future, implement a control to the entire drinking water supply system at the Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Índice general

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Aspectos preliminares del proyecto | 3 |
| 2.1. Planteamiento del problema..... | 3 |
| 2.2. Pregunta de investigación..... | 4 |
| 2.3. Objetivos..... | 5 |
| 2.3.1. Objetivo general | 5 |
| 2.3.2. Objetivos específicos..... | 5 |
| 2.4. Delimitaciones y alcances planeados | 5 |
| 2.5. Antecedentes..... | 6 |
| 2.6. Marco conceptual..... | 10 |
| 3. Aspectos metodológicos | 15 |
| 3.1. Estado actual de monitoreo de agua potable en Pontificia Universidad Javeriana Cali.. | 14 |
| 3.2. Concepción del sistema..... | 15 |
| 3.2.1. Consumo del agua..... | 16 |
| 3.2.2. Calidad del agua..... | 18 |
| 3.2.3. Plataforma web..... | 19 |
| 3.3. Selección de elementos físicos..... | 21 |
| 3.3.1. Microcontrolador..... | 21 |
| 3.3.2. Sensor para consumo de agua | 23 |
| 3.3.3. Sensor para calidad del agua..... | 24 |
| 3.3.4. Almacenamiento local..... | 26 |
| 3.3.5. Módulo reloj..... | 27 |
| 3.3.6. Otros componentes del sistema..... | 27 |
| 3.4. Implementación del Hardware | 28 |
| 3.5. Diagrama de solución..... | 29 |
| 3.5.1. Alternativa 1 | 29 |
| 3.5.2. Alternativa 2 | 30 |
| 3.6. Implementación de software | 32 |
| 3.6.1. Conexión a Servidor OPC..... | 34 |
| 3.6.2. Configuración SQL Server..... | 45 |
| 3.6.3. Configuración Ubidots | 52 |
| 3.7. Validación de resultados | 55 |

| | |
|--|----|
| 4. Implementación y pruebas | 57 |
| 4.1. Plan de pruebas y resultados..... | 57 |
| 5. Conclusiones | 64 |
| 6. Recomendaciones a trabajos futuros | 66 |
| | |
| Anexos | 67 |
| A. Diseño de tarjeta PCB..... | 68 |
| B. Arquitectura del sistema | 69 |
| C. Manual de usuario | 70 |
| D. Manual de mantenimiento..... | 74 |
| | |
| Bibliografía | 75 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| 3.1. Diagrama de bloques para decisión de componentes centrales | 15 |
| 3.2. Medidor de consumo de agua en la Pontificia Javeriana Cali..... | 17 |
| 3.3. Medidores de calidad de agua en la Pontificia Universidad Javeriana Cali | 18 |
| 3.4. ESP32-WROVER-TTGO | 23 |
| 3.5. Sensor de flujo de agua potable de ½..... | 24 |
| 3.6. Sensor de pH industrial | 26 |
| 3.7. Módulo tarjeta Micro SD | 27 |
| 3.8. Esquema de entradas y salidas de ESP32-WROVER-TTGO | 28 |
| 3.9. Alternativa 1, bosquejo de implementación en sitio | 30 |
| 3.10. Alternativa 2, bosquejo de implementación en sitio | 30 |
| 3.11. Acople para sensor de pH..... | 31 |
| 3.12. Dimensiones físicas de sensor de pH industrial..... | 32 |
| 3.13. Bosquejo final de la instalación en sitio del sistema..... | 32 |
| 3.14. Opciones de comunicación entre microcontrolador y Node-RED | 35 |
| 3.15. Creación de canal y tags para el monitoreo de consumo y calidad de agua potable | 36 |
| 3.16. Interfaz de UA Expert | 37 |
| 3.17. Configuración de Node-RED..... | 38 |
| 3.18. Parámetros de configuración del servidor OPC dentro de Node-RED..... | 39 |
| 3.19. Información para configuración de los parámetros del servidor OPC..... | 40 |
| 3.20. Configuración de bloque TCP..... | 41 |
| 3.21. Atributos del tag..... | 42 |
| 3.22. Configuración del nodo en Node-RED..... | 43 |
| 3.23. Configuración para el bloque escribir..... | 44 |
| 3.24. Edición del campo Connector | 44 |
| 3.25. Resultado de configuración de Node-RED y servidores OPC | 45 |
| 3.26. Creación de base de datos en SQL Server..... | 46 |
| 3.27. Crear usuario..... | 46 |
| 3.28. Permisos de usuario..... | 47 |
| 3.29. Creación y configuración de tabla en SQL Server..... | 48 |
| 3.30. Conexión de bloques o nodos en Node-RED..... | 48 |
| 3.31. Código de la función en Node-RED para realizar enlace con SQL Server | 49 |
| 3.32. Primera pestaña de configuración de nodo MSSQL..... | 50 |
| 3.33. Segunda pantalla de configuración de nodo MSSQL..... | 51 |
| 3.34. Información de consumo almacenada en SQL Server..... | 52 |
| 3.35. Interfaz de dispositivos en Ubidots..... | 52 |
| 3.36. Interfaz de Ubidots para dispositivo..... | 53 |

| | |
|---|----|
| 3.37. Interfaz de variable en Ubidots | 54 |
| 3.38. Dashboard Ubidots | 54 |
| 3.39 Certificado de participación en Cali Hacktech 2020..... | 55 |
| 3.40 Certificado de participación en curso de emprendimiento Campus Nova..... | 56 |
| 3.41 Certificado de participación en el Tercer Encuentro Javeriano de Semilleros de Investigación 202..... | 56 |
| 4.1 Simulación de datos de flujo de agua mediante generador de señales..... | 58 |
| 4.2 Solución buffer de pH con valor de 7.0 para calibración de sensor..... | 58 |
| 4.3 Instalación de sensor de pH y sensor de flujo en estación de flujo de agua..... | 59 |
| 4.4 Datos de consumo y pH de agua potable en pantalla LCD..... | 59 |
| 4.5 Datos de los sensores en la plataforma Ubidots..... | 60 |
| 4.6 Prueba de enlace KepServerEx y Energy Metrix..... | 62 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| 3.1. Selección de microcontroladores | 23 |
| 3.2. Selección de microcontrolador según batería de respaldo..... | 23 |
| 3.3. Selección de flujómetro..... | 24 |
| 3.4. Selección de sensor de cloro residual | 26 |
| 3.5. Selección de sensor de pH | 26 |
| 3.6. Selección de Módulo microSD | 27 |
| 3.7. Selección de Módulo reloj..... | 28 |
| 3.8. Selección de Pantalla, tarjeta SD, pila CR1220 y batería litio..... | 29 |
| 3.9. Tabla de conexiones al micro-controlador..... | 30 |
| 4.1 Relación entre frecuencia de la señal de salida y flujo de agua para sensor YFS201..... | 57 |
| 4.2 Comparación de costos..... | 61 |

Introducción

La escasez de agua es un problema que afecta a más del 40 % de la población mundial. Cuando se menciona el tema agua, se está haciendo referencia a un recurso del cual dependen la mayoría de las actividades del ser humano (hogar, salud, industria, agricultura, etc.). Según los datos del World Resources Institute (WRI) cerca del 40 % de la población mundial sufre de escasez de agua, es decir, alrededor de 1.000 millones de personas [1]. Es así como un proceso cotidiano como beber agua o asearse, es imposible para millones de personas que sufren de escasez de agua en el mundo. En el contexto colombiano, según el Estudio Nacional del Agua del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) la oferta hídrica que tiene el país es seis veces superior a la oferta mundial y tres veces mayor que la de Latinoamérica [2], indicando que el país posiblemente no sufrirá de escasez en un futuro próximo, pero este recurso no es ilimitado y si se sigue con un constante desperdicio, en el futuro si se pudiese sufrir de escasez. Además, actualmente y según el Departamento Nacional de Planeación (DNP) el 58 % de la población rural colombiana no tiene acceso a agua potable y cerca de 4 mil niños de la Guajira han muerto en los últimos 10 años por desnutrición y falta de agua potable [3]. De esta manera se evidencia que por más cantidad de agua potable que se tiene, el acceso a ella es de gran dificultad.

Analizando los problemas de escasez a nivel mundial y del posible problema que podría tener Colombia en un futuro, se evidencia una necesidad de ejercer un control riguroso sobre el consumo de agua y también sobre la calidad de agua, esto para garantizar que la mayoría de las poblaciones puedan contar con este recurso y que el mismo no se malgaste y esté en óptimas condiciones. El monitoreo del recurso hídrico dentro de una comunidad es fundamental, es por esto por lo que, en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, se creó un Programa de uso eficiente y Ahorro de Agua (PUEAA) que tiene como propósito gestionar correctamente el recurso hídrico que tiene la universidad. Para esto la Universidad ha adquirido e instalado medidores analógicos en las tuberías de alimentación de edificios, con el fin de poder registrar datos de consumo, a su vez, el encargado de la PTAP (Planta de Tratamiento de Agua Potable) tiene rutinas periódicas para realizar un registro y control a las variables de calidad de agua, sin embargo, este método de adquisición de datos presenta varios problemas; entre los más destacado se encuentra las posibles imprecisiones en algunas de las etapas de registro de datos o la falta de acciones rápidas para evitar problemas en la distribución del recurso hídrico.

La primera idea que surge para crear un sistema más robusto de monitoreo remoto de consumo y calidad de agua con el que se pueda caracterizar el consumo y analizar datos, es adquirir un medidor comercial telemétrico e instalarlo en la Universidad, sin embargo, el costo de un solo medidor puede superar los seis millones de pesos colombianos, sin tener en cuenta los costos de instalación o cableado, por lo que esta solución ha sido descartada por la Universidad debido a la cantidad de puntos de medición y el costo de cada medidor. Investigando soluciones de monitoreo remoto a bajo costo se encuentran sistemas que

utilizando un bajo costo desarrollan tecnología que haciendo uso de microcontroladores y sensores logran realizar un monitoreo remoto en viviendas, utilizando características de los microcontroladores que permiten conectarlos a una red que tenga internet llevar los datos a una plataforma web o a aplicaciones móviles. En el caso de variables de calidad de agua, las implementaciones son similares y se han usado microcontroladores y sensores para poder monitorear el comportamiento de variables de calidad de agua, sin embargo, no se menciona que alguna aplicación haya sido implementada a gran escala, aspecto que es necesario para la Pontificia Universidad Javeriana Cali. En la Universidad también se han realizado otros trabajos de grado relacionados con este proyecto; uno de ellos sobre gestión del recurso hídrico, en donde mediante encuestas lograron caracterizar el consumo de agua en la Universidad, y otro trabajo en el que se realizó un sistema de monitoreo IoT, este sin ninguna conexión al monitoreo de consumo o calidad de agua dentro de la Universidad, pero proporcionando información para crear una estructura para el monitoreo remoto de cualquier variable.

En este documento se describe la implementación de un sistema de monitoreo remoto de consumo y calidad de agua, que propone una solución para la necesidad específica de la Universidad en cuanto a adquisición de datos con la finalidad de ofrecer una tecnología que se pueda comparar a una solución industrial o que se acerque a tener los mismos beneficios de un medidor de alto costo. Para lograr esto primero se identifica el contexto actual de la Universidad en cuanto, al monitoreo remoto de consumo y calidad de agua, para reconocer con detalle la situación de la Universidad y las oportunidades de mejora en la gestión del recurso hídrico, luego de conocer la situación actual se procede a establecer los objetivos de este trabajo de grado y, posteriormente, se detalla con más profundidad los antecedentes de sistemas enfocados en monitoreo remoto de consumo o calidad de agua, después mediante un marco conceptual se explican algunos conceptos necesarios para entender la propuesta de este proyecto de grado. Una vez explicados los conceptos se procede a explicar la metodología para la implementación del sistema, en esta sección se explica lo relevante a la concepción del sistema y también se podrá visualizar algunas validaciones que ha conseguido la idea aquí propuesta, para terminar con las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en un laboratorio para verificar que lo mencionado en este documento es aplicable en un contexto real. Finalmente se realizaron conclusiones con respecto a lo obtenido y algunas recomendaciones de trabajos futuros para que el sistema sea cada vez más robusto y la Universidad pueda contar con un sistema completo de gestión y control del recurso hídrico en el campus.

Aspectos preliminares del proyecto

2.1. Planteamiento del problema

Estudiando el problema de la escasez de agua a nivel local, en la ciudad de Cali de cada 100 litros de agua que la ciudad potabiliza, por lo menos de 53 a 54 litros no son facturados y se pierden, mayormente por conexiones fraudulentas, por pérdidas técnicas o por pérdidas invisibles, reveló el actual alcalde de Cali Jorge Iván Ospina en diálogo con EL TIEMPO[4]. Se puede esperar que una universidad de alto reconocimiento, como la Pontificia Universidad Javeriana Cali, cuente con mediciones sectorizadas del consumo de agua por edificaciones o áreas, más aún si el recurso hídrico que provee a toda la universidad es obtenido a partir de la derivación de un río, en este caso del río Pance. Sin embargo, la Universidad hasta principios del año 2019 solo contaba con dos medidores analógicos para la medición de su consumo global, estos medidores presentan dificultades para la recolección de los datos debido a que es necesario tener una persona encargada de registrarlos manualmente, introduciendo el factor del error humano al momento de registrar un dato erróneo o tener un dato faltante, teniendo como consecuencia un bajo nivel de precisión en la base de datos del consumo de agua.

A partir del 2017 la Universidad vio la necesidad de tener sectorizado el consumo de agua, por lo que implementaron el Programa de uso eficiente y ahorro de agua - PUEAA, pero se encontró que la Universidad no contaba con las herramientas tecnológicas necesarias para realizar dichas mediciones, por ende, se realizó una toma de datos por medio de entrevistas a operarios. Actualmente la Universidad cuenta con su propia planta de tratamiento (PTAP) que logra almacenar hasta 260 metros cúbicos en sus tres tanques, pero en el documento del PUEAA se evidencia promedios de consumo de agua superiores a los 300 metros cúbicos por día en algunos meses, obtenido picos de consumo mayores a la capacidad de los tanques [5]. Sin embargo, por la metodología utilizada para la recolección de información sobre el consumo de agua, los datos no son completamente confiables.

La Universidad actualmente también hace uso del programa PUEAA para disminuir el consumo del agua, pero este no está teniendo el efecto necesario, por lo que para abastecer diariamente toda la universidad se está implementando la disminución de la presión del agua en los edificios. Sin embargo, esta no es la mejor práctica debido a que la población de la Universidad seguirá en crecimiento y por ende cada semestre se requerirá un mayor consumo del agua. Para solucionar la falta de medición sectorizada del consumo de agua, la Universidad se vio en la obligación de comprar medidores por cada área, pero por cuestiones de costos se compraron medidores analógicos. Esta medida trae consigo la dependencia de operarios que realizan el registro manual de los datos que proporcionan los medidores, introduciendo otras posibles fuentes de error, ya que el operario podría equivocarse en alguna etapa del proceso de registro de datos.

Respecto al proceso de purificación del agua que se realiza en la PTAP, existe un inconveniente con el seguimiento de los parámetros de calidad en las tuberías de la Universidad, esto es debido a dos factores principales: el primero es que no se tiene mediciones en tiempo continuo en los diferentes sectores de la universidad, conllevando como consecuencia el desconocimiento de un posible valor fuera de rango permitido de las variables de calidad que podría afectar la salud y el segundo factor es que la toma de datos se realiza de forma manual teniendo como consecuencia un nivel de imprecisión generado por el factor del error en la medición.

La solución que se planteó se fundamenta en el desarrollo de un sistema electrónico basado en el concepto de IoT (Internet de las Cosas) que obtiene información sectorizada y en tiempo real sobre el consumo y calidad de agua mediante sensores, proporcionando información que posteriormente es procesada a partir de una placa de desarrollo, que transmite la información a una plataforma web. Esta información puede ser aplicada en los lugares del campus que la Universidad considere pertinentes, por lo tanto, si se cuenta con el presupuesto adecuado, el sistema tiene la capacidad de realizar lecturas en diferentes puntos de la red de suministro.

2.2. Pregunta de investigación

¿Como desde la ingeniería electrónica se favorece el incremento de información disponible, en tiempo real y de forma remota, sobre el consumo y calidad del agua potable, de cada una de las áreas de la Pontificia Universidad Javeriana Cali?

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

- Desarrollar un sistema electrónico que facilite el monitoreo continuo del consumo de agua potable y de al menos un indicador de calidad del agua, en algunos puntos de la red de distribución de agua en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

2.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar las necesidades de la Universidad en cuanto variables de calidad, puntos de monitoreo y análisis de los datos sobre consumo y calidad del agua.
2. Integrar varios dispositivos en un sistema para el monitoreo sectorizado de cada una de las variables.
3. Centralizar la información recolectada por cada dispositivo en una base de datos global.
4. Visualizar y almacenar la información recolectada en una plataforma web. Se tiene como posibilidad el almacenamiento y la visualización de la información en la plataforma web de la Universidad “Energy metrix”
5. Presentar un dispositivo electrónico capaz de generar datos que puedan ser utilizados en técnicas de análisis de datos
6. Desarrollar la documentación necesaria para implementar y utilizar el desarrollo tecnológico.

2.4. Delimitaciones y alcances planeados

El alcance del proyecto de grado es desarrollar un sistema automático de monitoreo de consumo y calidad del agua. Este sistema tiene las siguientes características:

- Medición automática del consumo de agua y de al menos un indicador de calidad del agua.
- Sistema de respaldo energético en caso de la pérdida de la fuente de alimentación del sistema.
- Almacenamiento en la nube de la información recolectada en cada punto de medición, centralizando la información por cada área en una base de datos.

- Almacenamiento local de la información en caso de pérdida de conexión con la base de datos, la frecuencia de almacenamiento local y remoto de los datos será establecida una vez se conozcan las necesidades de la Universidad y las características de las variables a medir.
- Visualización remota de la base de datos.
- Visualización local del valor actual del consumo de agua y de la variable de calidad seleccionada.
- Escalabilidad para conectar más sensores que proporcionen información de interés sobre el estado del agua y modularidad para implementar más dispositivos al sistema.

En cuanto a documentación, se entregará:

- Manuales de instalación, de mantenimiento y de usuario, para que la persona que desee implementar el sistema sea capaz de ponerlo en funcionamiento fácilmente.
- Plan de pruebas en laboratorio con su respectivo resultado, con el objetivo de facilitar la calibración del sistema.
- Plan de pruebas del prototipo desarrollado, con el objetivo de validar el correcto comportamiento del sistema.
- Resultados de la información obtenida durante el tiempo que el sistema fue probado en los laboratorios de la Universidad.

2.5. Antecedentes

Históricamente los seres vivos hemos sido dependientes del agua para garantizar nuestra supervivencia, es por esto, que la gestión del agua en la actualidad gana cada vez más la importancia para combatir el problema de la escasez. Por lo anterior se hace vital tener conocimiento acerca de variables del agua, tales como consumo de agua o calidad de agua, la primera indica la cantidad que se usa y la segunda indica el estado de salubridad en que se encuentra el agua a utilizar. Para la medición de ambas variables a lo largo de los años han aparecido herramientas que permiten tener

un registro de los valores al pasar el tiempo.

Para la medición de consumo de agua existen medidores tanto analógicos como digitales, pero los segundos se caracterizan por tener un elevado costo comparado con los analógicos y es por esto por lo que es común en la actualidad ver implementados los dispositivos de medición analógicos, ya que la inversión es menor y otorga datos que son fiables; pero con la desventaja de tener la necesidad de movilizarse al lugar de instalación de cada uno de los medidores para obtener la información que brinda.

A partir de estas problemáticas han surgido algunas soluciones, una de estas es la presentada en la conferencia internacional de ingeniería eléctrica e informática de la IEEE, [6]. Este consta del diseño de un sistema en el cual se conecta un sensor de flujo a un microcontrolador Intel, el cual mediante comunicación MQTT envía información a la plataforma Ubidots, obteniendo una visualización remota de los datos, su respectivo almacenamiento y además en esta plataforma se permite establecer eventos, los cuales pueden ser notificados al usuario vía sms o correo electrónico. Este proyecto logró la construcción de un dispositivo IoT que envía datos en tiempo real a una plataforma y estos pueden ser visualizados de manera remota, obteniendo así una solución de bajo costo al problema de medición de consumo de agua.

Otra solución planteada se presenta en [7], esta no difiere mucho a comparación de la anteriormente presentada al momento de la recolección de los datos, pero si cambia la forma de enviarlos y visualizarlos, ya que la información va a una aplicación móvil creada específicamente para el registro y visualización de los datos, todo esto utilizando Internet, sin seguir un protocolo de comunicación como MQTT u otro semejante. Esta solución presenta una desventaja al no generar notificaciones al usuario, lo que hace que este tenga que estar revisando periódicamente la aplicación para verificar que no se estén presentando anomalías.

Por otra parte [8], plantea un sistema que, para obtener los datos de consumo de agua, se conectan sensor de flujo de agua del tipo de efecto Hall a cada uno de los grifos, que luego son procesados por un dispositivo NodeMCU, para posteriormente ser enviados a la base de datos en la nube de Heroku. Una pantalla LCD muestra el volumen total consumido y el caudal de agua de manera local cerca de cada grifo. Para visualizar de manera remota los datos de consumo de agua, se puede acceder a un informe gráfico desde la base de datos en la nube a través de un navegador web o un dispositivo móvil. El estudio arrojó una precisión promedio general de 99.38 %. El estudio concluyó que el sistema IoT desarrollado puede hacer un monitoreo preciso del consumo de agua y que de igual manera logra identificar qué grifo tiene el mayor consumo utilizando análisis visuales.

Las tres soluciones anteriormente presentadas se relacionan con el proyecto de grado planteado, debido a que uno de los propósitos es el monitoreo remoto de consumo de agua en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. Al proyecto de grado presentado se agregaron dos factores, el primero es que la información va a una base de datos privada de la Universidad a la que solo accederían personas con autorización, y el segundo, teniendo en cuenta que al depender

de Internet se podrían perder algunos datos en caso de fallas en la conexión a dicha red, la solución propuesta en este proyecto de grado cuenta con almacenamiento local de la información, así, aunque no haya conexión a Internet, existe un registro de datos.

Por otro lado, otra variable a medir es la de calidad de agua. En el concepto de calidad de agua se consideran diferentes variables que permiten afirmar si el agua a consumir es de buena o mala calidad. Estas variables son pH, turbidez, temperatura, cloro libre, cantidad de algunos microorganismos presentes como el E. coli, oxígeno disuelto, entre otros. Por lo que se hace evidente que para medir la calidad de agua es necesario medir diferentes variables que permitan dar un veredicto.

Herramientas tecnológicas que otorgan estas mediciones ya existen, ya sean analógicas o digitales y ambas comparten una característica común y es que por lo general debe ir una persona a tomar muestras de agua para obtener información de esta. El trabajo presentado en [9] hace referencia a un sistema de detección integrado que podría medir simultáneamente el pH, la concentración de cloro libre y la temperatura de una muestra de agua. Los tres sensores de esta solución estaban en un sustrato de vidrio común, conectados posteriormente a un procesador para el monitoreo en el sitio de cada muestra. Como conclusión se obtuvo una alta precisión de medición. Esto indicó que el sistema de detección integrado tiene el potencial de ser utilizado como un método rápido, fácil de usar, rentable y ampliamente aplicable para el monitoreo de la calidad del agua. Los resultados obtenidos con el sistema fueron similares a los medidos a partir de métodos de referencia, con una diferencia inferior al 7 %, 18 % y 15% para el pH, el cloro libre y la temperatura, respectivamente.

Otra solución presentada fue en una conferencia de la IEEE, [10], aquí se presentó un sistema de monitoreo de la calidad del agua en tiempo real y un monitoreo de la calidad del aire, incorporando un sistema de ahorro de energía de la luz de la calle. La primera parte es la que resulta de interés y esta consta de una integración de sensores para el monitoreo de la calidad del agua en tiempo real, incluyendo sensores de temperatura, de pH, turbidez y oxígeno disuelto. Los valores de los sensores se transmiten a través de un método de transmisión LoRa, hasta un microcontrolador el cual es el encargado de subir estos datos a la plataforma de internet ThingSpeak, el cual permite un monitoreo de manera remota de los datos obtenidos.

En [11] se propone un sistema que, para monitorear la calidad de agua, realiza mediciones de pH, conductividad y temperatura, esta información va a un módulo Zigbee, que enviará la información de los medidores vía SMS a un celular inteligente o a un PC, la información de los sensores también va a un microcontrolador ESP8266 que es el encargado de enviar la información a una página web. A través de este sistema, los usuarios pueden realizar un seguimiento de los niveles de contaminación que ocurren en los cuerpos de agua y enviar advertencias inmediatas al público. Esto podría ayudar a prevenir enfermedades causadas por contaminación en el agua o por la presencia de metales perjudiciales para la salud. Teniendo una rápida respuesta se pueden tomar medidas eficaces para frenar los niveles extremos de contaminación.

Las soluciones anteriores se conectan a la propuesta del proyecto de grado debido al interés existente por el monitoreo remoto de calidad de agua. Se encuentra que la primera solución presenta un monitoreo local que cuenta con resultados aceptables, permitiendo conocer técnicas de medición de calidad de agua por lo que el aporte de este proyecto de grado apuntó hacia la visualización y adquisición de estos datos de manera remota. El segundo artículo presenta un monitoreo remoto de diferentes variables, pero no hace evidente una correcta calibración de los sensores por lo que no es posible conocer si los datos medidos tienen una aproximación aceptable. En el caso de este proyecto no se consideró pertinente contar con la transmisión a través de módulos RF LoRa, debido a que se implementó todo en un solo microcontrolador que es capaz de recibir la señal de los sensores y subirla a una base de datos de la Universidad, además de un almacenamiento local en caso de tener problemas con la red que provee el internet al microcontrolador. El tercero, presenta una estructura IoT en la que se monitorea de manera remota variables de calidad de agua, por lo que sirvió como una estructura en la que inspirarse al momento de diseñar el dispositivo del sistema propuesto como solución.

Otro aspecto que toma relevancia es el uso que se da a los datos adquiridos de consumo y calidad de agua, pues además del almacenamiento de datos, se puede extraer información importante a través de técnicas de análisis de datos. Tal y como lo presenta [12], un estudio que se realizó en la ciudad de Cali al sistema de distribución de agua potable, que busca conocer el comportamiento del cloro residual, para esto se tienen en cuenta factores como edad del agua, caudal y el coeficiente de decaimiento del cloro en la masa de agua. Se tuvo como resultado información importante sobre en qué horarios la concentración de cloro residual es más elevada, o en que sectores hay más concentración. Con esta información se presenta un modelo del comportamiento del cloro residual que aporta una herramienta valiosa para realizar el seguimiento de la calidad de agua con un mayor nivel de profundidad.

En la Pontificia Universidad Javeriana Cali, se han desarrollado dos trabajos de grado con relación al área en la que se incursionó. El primero es [13], que consiste en el diseño de una arquitectura IoT para un sistema de monitoreo que permita una comunicación confiable, de forma eficiente y segura. Finalmente, como desarrollo se despliega una plataforma IoT de código abierto. El segundo proyecto de grado es [14], el tema principal se desarrolla en el área del agua consumida en la Universidad y como hacer un mejor uso de esta. Este trabajo presenta acciones que se pueden tomar para que haya una mejor utilización del agua en la Universidad, como, por ejemplo separar las tuberías de abastecimiento de agua en el campus.

2.6. Marco Conceptual

En el presente marco conceptual se da conocer un glosario de términos para la comprensión del proyecto de grado. Estos términos son divididos en cuatro categorías: consumo de agua, calidad de agua, sistemas IoT y por último análisis de datos, además de cada categoría se derivan diferentes conceptos como uso eficiente del agua, agua potable, cloro residual, protocolo de comunicación, entre otros.

Consumo de agua

El consumo de agua consiste en la cantidad de agua que una persona o comunidad utiliza para suplir necesidades básicas, como preparación de alimentos, limpieza, aseo personal o el consumo de agua, etc. La unidad de medida para cuantificar el consumo de agua es litros por habitante olitros por día (L/hab - L/día); el valor de dicha variable es importante debido a que representa las necesidades y/o consumo real de agua dentro de una comunidad o población, por lo tanto, es un reflejo de manera indirecta del nivel de desarrollo económico o social. El valor o indicador se obtiene a partir del suministro medido por contadores, estudios locales, encuestas o la cantidad total, de agua suministrada a una comunidad dividida por la cantidad de habitantes que hacen uso de esta [15]. A partir del consumo de agua se desprende el termino de uso eficiente de agua.

- Uso eficiente de agua: Realizar un uso eficiente del agua se ha convertido en una necesidad

de carácter crucial para poder garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico a nivel mundial, debido a que es de suma importancia para sostener la vida y el desarrollo de la humanidad y el ambiente. La gestión del recurso hídrico debe basarse en un enfoque participativo, es decir, se debe involucrar a todo tipo usuarios, tanto a los consumidores como a los responsables de tomar decisiones en todos los niveles. El uso eficiente del agua implica entre muchas tareas, la caracterización de la demanda de agua, esto son datos que deben conseguirse a nivel cualitativo y cuantitativo. Además, se debe analizar los hábitos de consumo para emprender acciones que estén dirigidas hacia cambios que optimicen y minimicen su uso [16].

Calidad de agua

El término de calidad de agua es usado para describir el estado del agua, a partir de características químicas, físicas y biológicas, para definir la calidad adecuada del agua. Generalmente el valor de sus características se compara con respecto a la idoneidad de un propósito, es decir, si el agua tiene propósito de consumo, uso en procesos industriales o simplemente para usos recreativos[17]. Respecto a la calidad del agua se desprenden diferentes términos que tratar como agua potable y cloro residual.

- Agua potable: Es el agua que tiene una calidad apta para el consumo humano, permitiendo tomarse o utilizarse en la preparación de alimentos sin tener algún riesgo en la salud. El no contar con estándares de calidad aptos para el consumo del agua, puede provocar intoxicaciones debido a la presencia de agentes infecciosos o sustancias tóxicas.
- Turbidez: La turbidez es un parámetro de calidad de agua que indica la probabilidad de contaminación microbiológica o contaminación por residuos tóxicos, entre mayor sea la turbidez del agua más compleja es la realización de una desinfección efectiva. Entre los métodos cuantitativos de medición se encuentra la Nefelometría y la Turbidimetría [18].
- Cloro residual: El cloro es la sustancia química más utilizada en todo el mundo para desinfectar el agua potable. En 1902 se creó la primera planta de tratamiento de agua potable que usaba cloro en el proceso de potabilización del agua. Este químico es el más empleado debido a su carácter fuertemente oxidante, siendo el responsable de la eliminación de los agentes patógenos, además, está comprobada su inocuidad a las concentraciones utilizadas, así como su facilidad de controlar y comprobar los niveles adecuados. Sin embargo, al utilizar este químico para potabilizar el agua es necesario mantener en las redes de distribución de agua potable niveles adecuados en la concentración de cloro libre residual, esto para asegurar que el agua ha sido desinfectada. Es importante mantener el valor de concentración del cloro residual (mg/l) dentro de un margen, debido a que una concentración baja implicará un riesgo para la salud y un valor alto provoca un sabor desagradable al consumidor [19].
- pH: El pH es un indicador de calidad de agua que otorga información acerca del grado de acidez o alcalinidad presente en el agua. El rango de este parámetro se encuentra entre 0 y 14 niveles de pH, tomando el valor de 7 como un estado neutro y un nivel de pH menor a este se considera como ácido. El intervalo permitido en agua potable es de 6.5 a 9.5 [20].

- Oxígeno disuelto: El Oxígeno Disuelto es un parámetro de calidad que mide la cantidad de oxígeno que está disuelto en una solución acuosa. Es un indicativo del nivel de contaminación presente en el agua o de lo bien que puede albergar vida vegetal o animal. Niveles altos de oxígeno disuelto indican una mejor calidad y niveles muy bajos muestra que será muy difícil la supervivencia de cualquier organismo. Las concentraciones totales de gas disuelto en el agua no deben exceder de 110% [21].

Sistema IoT

Un sistema IoT es la agrupación e interconexión de dispositivos a través de una red, esta red puede ser privada o mediante internet, permitiendo tener interacción entre dispositivos y usuarios de manera remota. los dispositivos clasificados como IoT puede ir desde sensores o dispositivos mecánicos hasta objetos de uso cotidiano. El objetivo es una interacción de máquina a máquina, o mejor conocido como una interacción M2M (machine to machine) [22]. A partir del término sistemas IoT se desprenden diferentes conceptos como protocolo de comunicación, comunicaciones dispositivo a la nube, monitoreo remoto, plataforma web, entre otros.

- Protocolo de comunicación: Es un método estandarizado que permite la comunicación entre procesos, es decir, consiste en un conjunto de reglas y procedimientos que se deben respetar para la transmisión y recepción de datos a través de una red [23].
- Comunicaciones dispositivo a nube: Implica el proceso donde un dispositivo de IoT se conecta directamente a un servicio en la nube de Internet, como un proveedor de servicios para el intercambio de datos, almacenamiento y control del tráfico de mensajes. Frecuentemente se usa conexiones ethernet o wifi, pero también puede llegar a usarse tecnología celular como redes 4.5G. Esta técnica de comunicación permite al usuario obtener acceso remoto a un dispositivo o a la información que provee [24].
- Monitoreo remoto: Esta técnica de monitoreo de variables permite a las personas visualizar datos desde cualquier lugar, es ideal para situaciones con condiciones ambientales severas, peligrosas, o de difícil acceso, ya sea por largas distancias o por condiciones del terreno. De igual manera es de gran necesidad cuando se debe monitorear diferentes variables en diferentes lugares para realizar un control. Por lo general, el usuario tiene acceso a la información usando un navegador por medio de internet, permitiendo ser de menor precio y configurable. Al monitoreo remoto se pueden introducir monitoreo celular o inalámbrico para alertar cuando las condiciones locales se encuentran fuera de las permitidas y requieren revisión o una acción [25].
- Plataforma Web: Son espacios en internet que admiten la ejecución de diferentes aplicaciones o programas en un mismo lugar para la satisfacción de distintas necesidades. Esto permite tener funciones diferentes que brindan una ayuda a los usuarios a resolver diversos problemas de una manera automatizada, utilizando menos recursos [26].

Análisis de datos

Es la ciencia encargada de examinar un conjunto de datos con la finalidad de obtener conclusiones respecto a la información, permitiendo tomar decisiones acertadas o simplemente ampliar conocimientos sobre diversos temas [27].

Servidor OPC

“Un servidor OPC es una aplicación de software (driver) que cumple con una o más especificaciones definidas por la OPC Foundation. El Servidor OPC hace de interfaz comunicando por un lado, con una o más fuentes de datos utilizando sus protocolos nativos (típicamente PLCs, DCSs, básculas, Módulos I/O, controladores, etc.) y por el otro lado con Clientes OPC (típicamente SCADAs, HMIs, generadores de informes, generadores de gráficos, aplicaciones de cálculos, etc.). En una arquitectura Cliente OPC/ Servidor OPC, el Servidor OPC es el esclavo mientras que el Cliente OPC es el maestro. Las comunicaciones entre el Cliente OPC y el Servidor OPC son bidireccionales, lo que significa que los Clientes pueden leer y escribir en los dispositivos a través del Servidor OPC.” [29]

Aspectos metodológicos

3.1. Estado actual del monitoreo de agua potable en la Pontificia Universidad Javeriana Cali

Para iniciar con la ejecución del proyecto de grado, se realizó una reunión con la persona interesada en que el desarrollo tecnológico sea instalado en la Universidad Pontificia Javeriana Cali, la Ingeniera Margarita Jaramillo, de la oficina de recursos físicos para el semestre 2020-2, expresando que para la Universidad sería positivo contar con el sistema propuesto de monitoreo remoto de consumo y calidad de agua, debido a que este presenta una herramienta valiosa para la supervisión del recurso hídrico, alineándose con tres de los objetivos específicos presentados en PUEAA (Programada Uso Eficiente y Ahorro de Agua) en el año 2017, estos son:

- Monitorear y controlar el consumo de agua.
- Diseñar e implementar alternativas tecnológicas que permitan el ahorro del agua sin afectar el normal desempeño de las actividades.
- Identificar fallas en el sistema de distribución.

El estado actual en la Universidad en cuanto a herramientas tecnológicas para la medición de consumo y calidad de agua continúa siendo analógico. Para la medición de consumo de agua, se han instalados medidores en la tubería de entrada de los principales edificios de la Universidad, los que permiten llevar un registro digital de esta variable. Con respecto a calidad de agua, operarios de la Universidad encargados de la PTAP y del sistema de distribución, cuentan con medidores analógicos que permiten llevar a cabo un monitoreo a variables de calidad de agua como lo son cloro residual o pH. Debido a que el registro de las mediciones de consumo y calidad de agua depende de una persona que se dirija al sitio en donde están instalados los medidores de consumo (o en el caso de calidad de agua, dirigirse al punto de toma de muestra), se plantea un sistema que mediante sensores realice la medición de consumo y calidad de agua y de manera autónoma dirija la información a una plataforma web para observar la información remotamente, de esta manera se tiene más rigurosidad en cuanto al monitoreo de estas variables. En PUEAA se establece que los edificios de la Universidad con mayor consumo de agua son Los Almendros, El Lago, El Samán, CDL y Las Palmas. Es en estos sitios donde se planteará la instalación del sistema de monitoreo de consumo y calidad de agua, si bien las condiciones actuales no permiten llevar a cabo la instalación, debido al acceso restringido a la Universidad en el momento de realización de este proyecto de grado, se ejecuta un estudio de la zona posible de instalación, indicando las características necesarias para llevar a cabo la instalación del sistema propuesto en este proyecto. Es importante destacar que el sistema es concebido como uno de fácil adaptación, consistiendo en la intervención en una tubería para la instalación de sensores

y de una conexión a un tomacorriente para la alimentación de energía. Conociendo la buena recepción por parte de la Universidad a la idea planteada y analizando el estado actual de la Universidad con respecto a la medición de consumo y calidad de agua, se establece la metodología para llevar a cabo el desarrollo tecnológico, en esta metodología se tiene en cuenta las etapas que son necesarias para obtener un producto final que se acerque a un prototipo de dispositivo comercial para instalación en tubería que permita la medición de variables relacionadas a agua potable y envíe esta información a una plataforma web donde se realizará un análisis estadístico de datos para obtener información relevante que permita al usuario tomar acciones favorables al uso eficiente del agua.

3.2. Concepción del sistema

Para iniciar con el proyecto de grado se resalta el trabajo realizado con anterioridad sobre esta problemática durante semestres anteriores en el curso de Proyecto de Integración Profesional (PIP) que, junto a María Alejandra Sánchez, Michael Cumbal y Carlos Andrés Aguilera se adelantó en la investigación de esta problemática en la Universidad y se identificó las etapas importantes para realizar un desarrollo que se acercara a un monitoreo remoto de consumo de agua en la Universidad. Para este trabajo de grado se retomó las ideas concebidas en el PIP y se reestructuró la solución propuesta para obtener un resultado cercano a un monitoreo remoto industrial o una solución IoT industrial, se realiza un diagrama de bloques (Figura 3.1) que indica de forma general como es el funcionamiento del sistema y en el Anexo B se encuentra la arquitectura del sistema.

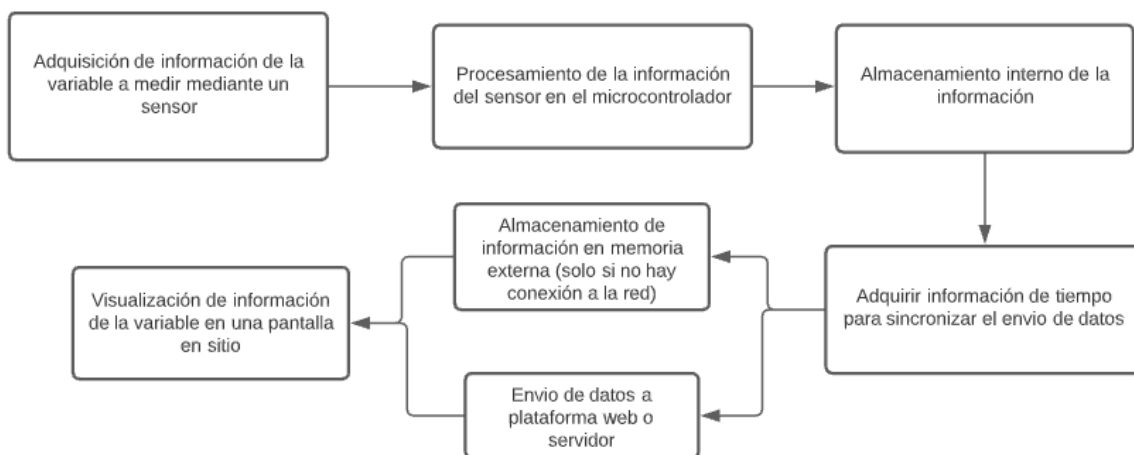


Figura 3.1: Diagrama de actividades para el funcionamiento del sistema

El primer paso para desarrollar lo que se observa en la figura 3.1 es establecer los tres componentes principales del sistema que son:

- El tipo de sensor que se utiliza para obtener información de consumo de agua. Las características del sensor indican el tratamiento de la señal que debe realizar un microcontrolador.
- La variable de calidad de agua. Esta variable se elige coordinando con los intereses de la Universidad como la capacidad presupuestal y tecnológica, debido a que, aunque hay varias variables que permiten extraer información importante, algunas son de mayor atención, así como dependiendo de la variable, puede variar el costo del sensor. A su vez existe la posibilidad que no exista un sensor electrónico que permita realizar las mediciones de esa variable, esto puede ocurrir con variables biológicas como pueden ser microorganismos presentes en el agua.
- La plataforma web o servidor donde se almacenará y visualizará la información.

3.2.1. Consumo del agua

Se analizan las diferentes opciones para la medición de flujo de agua potable, existen diferentes clases de medidores que permiten extraer la información de flujo dentro de una tubería, cada uno tiene un funcionamiento diferente que implica una salida diferente que se debe aplicar a un microcontrolador, este será un parámetro importante a la hora de la elección, debido a que debe ser un sensor que permita una obtención sencilla de la información para que no implique un trabajo adicional a una persona que desee replicar este proyecto de grado. Se estudian tres opciones para implementar, estos son el flujómetro electromagnético, flujómetro de turbina con efecto Hall y flujómetro ultrasónico, se considera estos tres por las características eléctricas de estos, debido a que otros medidores de caudal se apoyan en otros principios mecánicos para su funcionalidad.

Flujómetro Electromagnético:

Haciendo uso de la ley de Faraday de inducción magnética, se induce un voltaje en un conductor que se mueve a través de un campo magnético. En el principio de medición electromagnética, el medio es el conductor en movimiento, en este caso el agua potable. El voltaje inducido es proporcional a la velocidad de flujo y es suministrado al amplificador por medio de dos electrodos de medición. El volumen de flujo se calcula por medio del área de sección transversal del tubo. Este medidor es uno de los más utilizados para uso residencial y es el más común que se puede observar en diferentes aplicaciones, esto debido a su precisión.

Flujómetro de Turbina:

Haciendo uso del efecto Hall, este sensor es adecuado para la medición en una tubería estándar y se puede insertar fácilmente en un sistema de tuberías, cuenta con un rotor de agua, conformado por un pequeño molino de viento, este tiene un pequeño imán atado y hay un sensor magnético de efecto Hall en el otro lado del tubo que registra cada vuelta dada por el molino de viento, esto genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo. Este sensor utiliza unas aspas o álabes para medir la cantidad de líquido que se ha movido a través del interior del dispositivo.

Flujómetro de ultrasonido:

Los caudalímetros por ultrasonido están basados en la propagación de ondas de sonido en un fluido. Existen dos principios básicos para esta medición: Tiempo de Tránsito y Efecto Doppler. En los caudalímetros por tiempo de tránsito, la velocidad de flujo se determina por la diferencia entre la velocidad de propagación de una onda de sonido a favor y otra en contra del flujo. Los elementos emisores y receptores pueden instalarse por fuera de la tubería sostenidos por abrazaderas. El instrumento de efecto Doppler tiene un generador de ultrasonido que emite ondas. Si en el seno del líquido existen partículas o burbujas de gas, estas ondas chocan con ellas provocándose una reflexión de las ondas, un eco. Cuando esto ocurre el eco devuelto tiene una frecuencia igual si el líquido está quieto o distinta que la enviada si está en movimiento. Esta nueva frecuencia depende de la velocidad de la partícula productora del eco, por lo que midiendo

el corrimiento de frecuencia se puede determinar la velocidad del fluido y por lo tanto el caudal instantáneo. Estos medidores tienen la ventaja de tener una alta precisión y en algunos casos no son invasivos, quiere decir que no requiere la intervención en la tubería para la instalación del sensor.

Como se ha mencionado anteriormente, la Universidad ya cuenta con medidores analógicos (Ver figura 3.2), estos proporcionan una alta precisión y la mayoría tienen la característica del flujómetro electromagnético, por lo que aprovechando este recurso la concepción para la medición de consumo de agua consistiría en instalar una cámara que permita obtener mediante procesamiento de imágenes, el dato que marca dicho medidor de consumo de agua, sin embargo, esta concepción está ligada a los medidores ya existentes, que tienen un costo elevado, lo que hace esta solución poco atractiva en caso de querer segmentar los consumos dentro de un edificio, además, en caso de una falla en la imagen tomada por la cámara implicaría errores en el registro de datos. Por lo que esta idea no es tomada en cuenta, sin embargo, no se descarta que pueda ser una buena implementación para una mejora a los medidores ya existentes en la Universidad.



Figura 3.2: Medidor de consumo de agua en la Pontificia Javeriana Cali

Con respecto al flujómetro de ultrasonido, aunque presenta características técnicas que proporcionan ventajas importantes, como lo son el hecho de que puede no ser invasivo y su alta precisión, esta clase de sensores tienen un costo elevado, incluso comparado con los ya instalados

en la Universidad, es por esto por lo que se descartan para su uso en este proyecto de grado, sin embargo, teniendo los suficientes recursos económicos, no se descarta que sea una buena adquisición para una mejora en el registro de consumo de agua en la Universidad.

Por último, analizando el flujómetro de turbina con efecto Hall, este presenta una característica interesante en su funcionamiento, siendo el hecho de la generación de pulsos proporcional al flujo de agua, esto brinda una facilidad de adquisición de información por medio de un microcontrolador. Además, en la investigación que se realizó, se ha encontrado diferentes modelos de este sensor, permitiéndolos adquirir con mayor facilidad con respecto a los otros, además su costo es menor, posicionándolo como el elegido para la realización del proyecto de grado.

3.2.2. Calidad del agua

Para la elección de la variable de calidad, se coordinó con la Ingeniera Margarita Jaramillo la visita al campus, para una entrevista con un operario encargado de la PTAP de la Universidad, durante la visita se identificó que la Universidad cuenta con medidores para calidad de agua como los que se muestran en la figura 3.3.:



Figura 3.3: Medidores de calidad de agua en la Pontificia Universidad Javeriana Cali

Como se puede observar en la figura 3.3, la Universidad lleva un control de variables como turbidez, pH o cloro residual, entre otras, mediante medidores analógicos, el operario indica que variables como turbidez, temperatura u oxígeno disuelto no son críticas, sin embargo, se realizan mediciones con cierta periodicidad de estas. Se identifica como críticas entonces el cloro residual y el pH, aunque las mediciones de la Universidad a día de hoy no han registrado un valor crítico en ninguna de ellas, es recomendable llevar un control riguroso de ellas debido a que un valor fuera del rango normal puede generar un riesgo para la salud de las personas. Por esto se eligen como variables de estudio el cloro residual y el pH, siendo una de estas dos la adaptada para el sistema de monitoreo remoto de consumo y calidad de agua presentado en este proyecto de grado.

3.2.3. Plataforma web

Para la elección de la plataforma web, se hace uso de la información obtenida durante la investigación del marco teórico, debido a que este proyecto de grado no está orientado a la investigación de cual plataforma web orientada a IoT es mejor, sino que está orientado a presentar una herramienta para el monitoreo remoto. Se decide usar la plataforma web Ubidots, debido a su facilidad de conexión con microcontroladores, su amplia documentación, y su diversa aplicación en proyectos relacionados al presentado en este trabajo de grado. Sin embargo, cabe resaltar que esta plataforma es de pago, pero en la actualidad tiene un componente gratuito, aspecto del que se sostiene este proyecto de grado para utilizarla como componente de la solución propuesta, además como menciona en sus conclusiones el proyecto de grado presentado en la Pontificia Javeriana Cali: “Configuración y puesta a punto de un sistema de monitoreo basado en tecnologías de IoT” 28] el hecho de que plataformas web sean de pago no implica ignorar su uso, debido a que estas presentan un menor esfuerzo al momento de implementar una solución de IoT.

Sin embargo, se resalta el hecho de que la Pontificia Universidad Javeriana Cali cuenta con un servidor Energy Metrix, que sirve como una posibilidad para almacenar los datos de consumo y calidad de agua. Por lo tanto, serán estas dos posibilidades de almacenamiento y visualización de información las que se estudiarán en el proyecto de grado. No obstante, si alguien desea utilizar una plataforma web o servidor diferente para almacenamiento de información de consumo o calidad de agua, este proyecto de grado presenta las pautas y diseño para el funcionamiento e instalación en sitio del dispositivo, pero no tiene la finalidad de realizar conclusiones sobre que plataforma es mejor, por lo que el componente de plataforma web es propenso a cambios, a su vez, la concepción del sistema tiene una característica importante y es la de ser modular, permitiendo reemplazar o añadir componentes para obtener un resultado similar o mejor al presentado.

Una vez se tiene claro cómo se van a medir las variables pretendidas en este proyecto de grado, se procede a diseñar el esquema del sistema en conjunto. El sistema está concebido para realizar un monitoreo remoto de consumo y calidad de agua potable, sin embargo, es necesario de otros componentes además de los sensores para llevar a cabo un correcto monitoreo, siendo estos componentes, un método de almacenamiento local para la información que se quiere monitorear, un medio por el que se puede visualizar de forma local o en sitio, la información que está siendo medida y un método de alimentación de respaldo en caso de que falle la alimentación principal.

Como se hace evidente, es necesario un dispositivo que realice la tarea de núcleo de este proyecto de grado, para esta tarea, se hace uso de un microcontrolador, debido a que estos dispositivos son suficientes para realizar la tarea que se requieren, a comparación de otros dispositivos como los Controladores Lógicos Programables (Siglas en inglés PLC), estos son de bajo costo, cuentan con entornos de programación con una amplia documentación y lo que se requiere para este desarrollo tecnológico no requiere de una gran inversión o tecnología como lo es la del PLC, haciendo uso de un microcontrolador se cumple con las características propuestas en este proyecto de grado, además, aun permiten añadir otras características si es que una persona deseara hacerlo.

El sistema de monitoreo remoto de consumo y calidad de agua potable funciona mediante el uso de un flujómetro de turbina con efecto Hall y un sensor de calidad de agua, que conectados a un microcontrolador envía la información de sus mediciones a una plataforma web. A su vez, hay un almacenamiento local de la información como respaldo en caso de que el envío a la plataforma web falle y se tiene un módulo reloj para coordinar cada cuanto se envían o almacenan los datos, además de una pantalla en el lugar de instalación para poder visualizar el dato de consumo o calidad de agua en el sitio donde esté instalado el sistema. La información de consumo y calidad es monitoreada de manera mensual y diaria, sin embargo, es posible modificar los tiempos para que el envío de información sea de menor o mayor tiempo, la modificación de este tiempo no genera problema alguno en la medición, debido a que los sensores están tomando mediciones todo el tiempo, por lo que la información de consumo de agua total, que requiere que se esté acumulando, no va a variar si se modifica el envío de datos a un día, una semana, un mes, entre otros.

Se propuso en el caso de consumo de agua total, tener información mensual y diaria, porque de forma mensual es posible comparar con los sistemas tradicionales donde la tarifa de consumo de agua se calcula según el consumo mensual. Presentar la información de forma diaria es una característica del sistema que permite extraer información importante de una forma sencilla, por ejemplo, caracterizar el consumo diario de agua potable en la Universidad y así identificar qué día de la semana existe mayor consumo. Otra característica del sistema es la posibilidad de generar alertas, estas pueden ser configurables, se conciben inicialmente para dos ocasiones, si el consumo de agua supera un límite establecido o si el valor de calidad de agua potable esta fuera de un rango permisible.

Para el método de almacenamiento local de la información, se hace uso de dos recursos, el primero es la memoria interna del microcontrolador, esto es fundamental debido a que si falla la energía de alimentación, cuando se reinicie el sistema, el dato de consumo de agua total durante el mes o el día no debe perderse. El segundo recurso es el uso de una memoria SD, es necesario debido a que guardar la información en una memoria externa permite extraer información de cuando el sistema falló en el envío de datos a la plataforma web, sin necesidad de intervenir el microcontrolador para extraer la información.

El módulo reloj se hace necesario para coordinar cuando se realiza el envío de datos a la plataforma web o cuando se almacena en la memoria SD. Es conocido que los microcontroladores cuentan con un reloj interno que permiten coordinar tareas, sin embargo, si ocurre un reinicio en el microcontrolador, el reloj interno también se reinicia. También se evaluó la alternativa de obtener la hora del día mediante internet, pero, aunque puede ser útil, es sensible a que, si falla la conexión a internet, el sistema queda desprovisto de un reloj. Es evaluando las alternativas que se decide hacer uso de un componente de hardware como un módulo reloj, de esta manera se asegura que la información se envíe o almacene en un tiempo del día establecido, aunque puede surgir una desconexión del módulo reloj con el microcontrolador, este problema es controlado asegurando que la conexión entre ambos componentes sea mediante un circuito impreso en una PCB, y en caso de que falle el módulo reloj es de fácil remplazo un componente o el módulo completo. Debido a que este módulo será el encargado de coordinar diferentes tareas del sistema, esto lo convierte en un

componente fundamental, por lo que es necesario tener alguna forma de supervisar su estado, para esto se configura una notificación en forma de alarma, para que la persona encargada de supervisar el sistema pueda conocer por medio de un mensaje que llega a un celular, cuando el módulo reloj presente algún inconveniente.

La energía de alimentación de respaldo del sistema es necesaria debido a que el propósito es realizar un monitoreo, para realizar esto de la mejor manera se consideró deseable no perder información o en caso de que ocurra, que la pérdida de datos sea mínima, por esto la alimentación de respaldo nos permite contar con un método de evitar pérdida de información. Para el respaldo energético se plantea dos alternativas, la primera es diseñar un sistema de alimentación secundaria que, mediante la medición de energía de la alimentación principal, pueda tomar decisión entre abastecer al sistema de monitoreo remoto de consumo y calidad de agua mediante la energía principal o haciendo uso de baterías, a su vez, se considera necesario que dichas baterías puedan ser recargables, por lo que cuando no estén en uso, sean recargadas por medio de la energía de alimentación principal. La segunda alternativa es usar un microcontrolador que cuente con la característica de contar con alimentación de respaldo.

3.3. Selección de elementos físicos

Una vez definido los 3 componentes principales de la solución, se procede a investigar los elementos de hardware adecuados para la implementación de lo visto en el diagrama de la figura 3.1, la referencia del microcontrolador que es quien procesa la información de los sensores, la referencia de los sensores, la referencia del módulo que permitirá tener almacenamiento local de datos mediante una memoria externa, el módulo reloj quien se encarga de adquirir la información de tiempo para la sincronización del envío de datos, y por último se define los otros componentes de la solución.

3.3.1. Microcontrolador

Como se ha mencionado antes, el microcontrolador funciona como cerebro dentro del sistema, las tareas de procesar la información de los sensores, hacer uso de los diferentes módulos conectados y enviar la información a una plataforma web, las ejecuta este. La forma de envío de datos es fundamental como criterio de selección para el microcontrolador, debido a que se quiere realizar información a una plataforma web, como lo puede ser Ubidots. Se consideró que usar WiFi es una alternativa adecuada, debido a su sencilla aplicación, a que los requerimientos para que usar este medio son de fácil implementación o uso, y su amplia documentación y uso dentro de aplicaciones con microcontroladores. Otro criterio de selección es el número de pines del microcontrolador, esto debido a que, como se ha mencionado, se hará uso de diferentes módulos además de los sensores, por lo que se requiere que el microcontrolador cuente con varios pines para poder conectar todos los componentes del sistema. Un último criterio es el costo del microcontrolador, se desea sea económico, de forma que, si se desea realizar una réplica del sistema presentado, los componentes no sean de un costo elevado, siendo una característica que el precio sea menor que lo existente en el mercado. El criterio de memoria interna no es tenido en cuenta debido a que no es la intención guardar muchos datos en esta, siendo destinado el almacenamiento de datos que son reescritos continuamente, por lo que será necesario un poco espacio de la memoria.

| # | MICROCONTROLADOR | PRECIO (COP) | MÓDULO WIFI INTEGRADO | # GPIO |
|----|---|--------------|-----------------------|--------|
| 1 | STM32F103C8T6 | 14.280 | NO | 37 |
| 2 | ARDUINO NANO V3.0 | 14.691 | NO | 22 |
| 3 | ESP8266 NodeMcu V3 | 16.660 | SI | 10 |
| 4 | ESP8266 D1 Mini | 17.850 | SI | 9 |
| 5 | ESP8266 NODEMCU V3 LUA WIFIFI | 18.819 | SI | 10 |
| 6 | ESP8266 NodeMcu Lua WIFIFI v1.0 | 20.306 | SI | 10 |
| 7 | ESP8266 WEMOS D1 COMPATIBLE CON ARDUINO | 21.706 | SI | 10 |
| 8 | RTL8710AF o RTL8195 WIFIFI | 26.208 | SI | 16 |
| 9 | ESP32 LOLIN32 MICROPYTHON | 31.999 | SI | 19 |
| 10 | ESP32 NODEMCU | 32.986 | SI | 24 |
| 11 | Wifi Lite W600 | 36.400 | SI | 14 |
| 12 | ESP32 Wemos mini D1 | 38.080 | SI | 34 |
| 13 | ESP32 Wemos D1 R32 | 40.000 | SI | 24 |
| 14 | ESP32 Shield WifiFi | 46.410 | SI | 24 |
| 15 | ESP32-WROVER-TTGO | 55.930 | SI | 34 |
| 16 | RASPBERRY PI ZERO W | 82.094 | SI | 28 |

Tabla 3.1: Comparación de microcontroladores

En la tabla 3.1, se muestran algunos de los microcontroladores considerados, siendo los No. 3, 5, 9, 10, 12, 15 los que presentan características favorables a lo deseado para la implementación. Entre estos seleccionados se investigan si cuentan con una característica para una batería de respaldo, se tiene como resultado:

| # | MICROCONTROLADOR | BATERIA DE RESPALDO |
|----|-------------------------------|---------------------|
| 3 | ESP8266 NodeMcu V3 | NO |
| 5 | ESP8266 NODEMCU V3 LUA WIFIFI | NO |
| 9 | ESP32 LOLIN32 MICROPYTHON | SI |
| 10 | ESP32 NODEMCU | NO |
| 12 | ESP32 Wemos mini D1 | NO |
| 15 | ESP32-WROVER-TTGO | SI |

Tabla 3.2: Comparación de microcontrolador según batería de respaldo

Se observa en la tabla 3.2, que los No. 9 y 15 cuentan con la característica de adaptar una batería de respaldo, ofreciendo tanto una alimentación secundaria en caso de falla de la alimentación principal, como la recarga de las baterías conectadas en caso de que estas no estén siendo utilizadas. Por costo resulta adecuado el 9, sin embargo, el 15 cuenta con mayor número de pines (GPIO), lo que permite tanto cumplir con el número de pines necesario para sensores y módulos utilizados en este proyecto de grado, como también la posibilidad de tener otros pines disponibles en caso de que en un futuro alguien desee añadir más características al sistema usando el mismo microcontrolador, añadiendo una característica al sistema de ser modular. Es así como el microcontrolador elegido es el ESP32-WROVER-TTGO.



Figura 3.4: ESP32-WROVER-TTGO

3.3.2. Sensor para consumo de agua

Es el encargado de la adquisición de información de flujo de agua que posteriormente será procesada para obtener información de consumo de agua en volumen (L o m³). Para la compra de este sensor se tienen alternativas, cuyo uso y confiabilidad son similares o iguales, el factor diferencial es el material con el que están fabricados y dependiendo de este material variará su precio. Para este proyecto de grado se recopila las posibilidades en cuanto a diámetro de tubería de los sensores encontrados y se da un precio promedio de lo que se puede encontrar en el mercado, tal como se observa en la tabla 3.3.

| SENSOR DE FLUJO DE AGUA | | |
|-----------------------------|-------------------|--------------|
| SENSOR DE FLUJO | TAMAÑOS (Pulgada) | PRECIO (COP) |
| Sensor de flujo de agua 1/8 | 1/8 | 51.170 |
| Sensor de flujo de agua 1/4 | 1/4 | 23.800 |
| Sensor de flujo de agua 1/2 | 1/2 | 14.161 |
| Sensor de flujo de agua 3/4 | 3/4 | 28.560 |
| Sensor de flujo de agua 1 | 1 | 57.120 |
| Sensor de flujo de agua 5/4 | 1 1/4 | 64.260 |
| Sensor de flujo de agua 1.5 | 1 1/2 | 61.880 |
| Sensor de flujo de agua 2 | 2 | 65.450 |

Tabla 3.3: Comparación de flujómetro

Según PUEAA el tamaño máximo de tubería en la universidad para flujo de agua potable es de 3 pulgadas, por lo que, según la información disponible a la fecha, sería necesario para una tubería de ese diámetro, utilizar un acople en la tubería para poder instalar el sensor de 2 pulgadas, que es el máximo tamaño encontrado. Esto posiblemente provoque un aumento de presión en esa sección de la tubería por lo que sería necesario analizar si esto supera la presión de trabajo máxima del flujómetro que es igual a 17 bar, sin embargo, esto no afectará la medición de consumo.



Figura 3.5: Sensor de flujo de agua potable de ½ "

3.3.3. Sensor para calidad del agua

Para la elección de este componente se está entre dos variables, cloro residual y pH, que son las más críticas ya que valor fuera del rango permisible puede implicar un problema en la salud de las personas, No se consideraron otras variables de calidad de agua (como temperatura, oxígeno disuelto, entre otras), ya que la Universidad afirma que nunca han tenido problemas con este variables de calidad de agua debido principalmente al buen funcionamiento de la PTAP les asegura un correcto valor, sin embargo, se realiza mediciones periódicas. Sin embargo, no se pretende decir que no sean importantes, incluso se hace la recomendación que, si existe intención de realizar una inversión en implementar lo propuesto en este proyecto de grado, se considere la posibilidad de incluir la mayor cantidad de sensores de calidad posibles, ya que en este proyecto de grado se realiza una sola variable debido a una limitación presupuestal. Conociendo esto, se hace una búsqueda de sensores de cloro residual y de pH, encontrando lo siguiente:

| SENSOR DE CLORO RESIDUAL | | | | |
|--------------------------|--|--------------------|---------|----------|
| EMPRESA | NOMBRE | PRECIO | OUTPUT | COLOMBIA |
| Endress+Hauser | dióxido de cloro Memosens Sensor CCS50D | X | X | NO |
| | cloro libre digital Memosens CCS51D | X | X | NO |
| | digital de cloro total Memosens CCS120D | X | X | NO |
| | cloro libre analógico CCS51 | X | X | NO |
| CHEMTROL | sensor PPMcloro libre | X | 4-20 mA | NO |
| OMEGA | Sensores de cloro libre | \$1275 USD | 4-20 mA | NO |
| Cole-Parmer | Sensor de cloro libre Cole-Parmer | \$ 1570 USD | 4-20 mA | NO |
| SENSOREX | PVC cloro Sensor | \$1146,51 USD | 4-20 mA | SI |
| AquaPhoenix | FREE CHLORINE SENSORS | X | 4-20 mA | NO |
| ASI | Electrodo de cloro RC67 | X | 4-20 mA | NO |
| Alibaba | cloro residual RS485 | 291,00– 365.00 USD | 4-20 mA | NO |
| Interempresas | sensor amperométrico de cloro libre | x | 4-20 mA | NO |
| AliExpress | Sensor de electrodo de cloro Residual Industrial Digital | \$768,7 EUROS | 4-20 mA | NO |
| AliExpress | Electrodo Sensor Industrial libre de cloro | \$254,8 EUROS | 4-20 mA | NO |
| ProMinent | DULCOTEST® para cloro libre | 1950 EUROS | 4-20 mA | SI |
| Burkert | Tipo 8232 - Sensor de cloro | 1500-1600 EUROS | 4-20 mA | NO |
| Hach | Sondas Sension+ | \$1.210 USD | X | SI |
| PI | Dióxido de Cloro - DioSense | X | X | SI |
| Electrodos y Sensores | ELECTRODODE CLOROLIBRE FCL505 | 5.787.000 COP | 4-20 mA | SI |
| krohne | OPTISENS CL 1100 | X | 4-20 mA | SI |

Tabla 3.4: Comparación de sensor de cloro residual

| SENSOR DE PH | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|---------------|------------|-------------------------|----------------|
| # | Precio (COP) | Alimentación | Precisión | Rango (pH) | Temperatura de medición | Tipo de salida |
| 1 | 148.750 | 5V | ± 0.1pH (25C) | 0-14 | 0 - 60 °C | Analógica |
| 2 | 277.272 | 5V | ±0,1pH(25C) | 0-14 | 0 - 60 °C | Analógica |
| 3 | 153.510 | 5V | ±0,1pH(25C) | 0-14 | 0 - 60 °C | Analógica |

Tabla 3.5: Comparación de sensor de pH

En las tablas 3.4 y 3.5, se logra apreciar los diferentes sensores de pH y cloro residual que hay en el mercado., En la tabla 3.4 se hace evidente que los sensores de cloro residual que se encontraron tienen un alto costo en el mercado, incluso algunos no fue posible cotizarlos y otros implican una importación que le añade costos al sensor. Los sensores de pH que se ven en la tabla 3.5 tienen un valor menor por lo que por cuestión de presupuesto, será el implementado en este proyecto de grado. Como se puede apreciar en la tabla 3.5, los tres sensores encontrados tienen las mismas características de funcionamiento, sin embargo, al momento de consultar al

proveedor, en este caso Vistronica SAS, informa que, para medición continua, el adecuado es el número 2, que tiene el nombre de sensor de pH industrial y lo que le permite realizar mediciones continuas es el material del cual está hecho, los otros dos sensores son diseñados para mediciones puntuales. Debido a lo anterior, el sensor de calidad de agua escogido es el sensor de pH industrial DFROBOT SEN0169.



Figura 3.6: Sensor de pH industrial DFROBOT SEN0169.

3.3.4. Almacenamiento local

Para este componente se investigan módulos que contengan la característica de almacenamiento en SD y que sean compatibles con tecnologías similares a la del ESP32. Para este caso el único criterio de selección será el precio debido a que es un módulo que es simple en cuanto a su tecnología y que acepta cualquier tamaño de tarjeta SD, el módulo sirve como un intermediario para que se envíe ordenes desde el microcontrolador a la memoria SD.

| # | MÓDULO microSD | PRECIO (COP) | PINES |
|---|---|--------------|-------|
| 1 | Módulo tarjeta microSD compatible Arduino | 5.355 | 6 |
| 2 | Tarjeta Datalogger (SD Y RELOJ) | 14.280 | 10 |

Tabla 3.6: Comparación de Módulo microSD

En la tabla 3.6 se encuentra resaltado el primer módulo, que fue el elegido, se podría pensar que la segunda opción de la Tarjeta Datalogger que contiene SD y reloj puede ser más favorable en el aspecto económico, sin embargo, como se podrá ver en la tabla 3.7 el módulo reloj sumado a este tiene un costo menor, aunque no se visualice una mayor diferencia, al pensar en que se desee realizar varias réplicas de este sistema pueden significar un ahorro, además, al investigar el número de pines

que ocupa cada módulo, se encuentra que el elegido ocupa 6 y el segundo 10, otra razón para decantarse por el primero, debido a que si se usa el primer módulo SD y el módulo reloj elegido se usan 9 pines, por lo que por el aspecto económico y la ocupación de pines se elige el Módulo tarjeta microSD compatible Arduino.

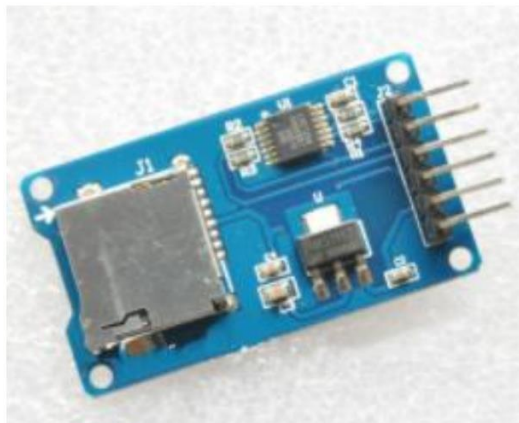


Figura 3.7: Módulo tarjeta Micro SD

3.3.5. Módulo reloj

Para la elección de este módulo reloj, el criterio principal fue el precio, debido a que no presentan características diferentes en su funcionamiento, sin embargo, contactándose con el proveedor recomendó el uso del módulo 2 RTC DS1302, debido a que presenta un mejor tiempo de vida, al ser este componente una parte fundamental del sistema se decide adquirir el RTC DS1302 por su tiempo de vida.

| # | Módulo reloj | Precio (COP) |
|---|---------------------------------|--------------|
| 1 | Módulo RTC Mini H | 5.593 |
| 2 | Reloj de tiempo real RTC DS1302 | 7.259 |
| 3 | Reloj de tiempo real RTC DS3231 | 8.449 |
| 4 | Tarjeta Datalogger (SD Y RELOJ) | 14.280 |

Tabla 3.7: Comparación de Módulo reloj

3.3.6. Otros componentes del sistema

Al momento de buscar la pantalla LCD se decide cotizar una pantalla LCD de 16x2, debido a que con este tamaño es posible visualizar los datos que se desean, además, una pantalla de mayor tamaño implica mayor costo, debido a que no existen diferencias sustanciales entre pantallas LCD 16x2

se decide adquirir la pantalla en el lugar donde se venda al precio más bajo. Existen otros gastos en cuanto a componentes que no vienen incluidos con los módulos, como lo es la tarjeta microSD, la pila para el módulo RTC1302 y la batería de litio que sirve como alimentación de respaldo para el microcontrolador. Estos últimos costos están en la siguiente tabla:

| COMPONENTE | COSTO(COP) |
|-----------------------------|------------|
| Display LCD Azul 16x2 | 9.282 |
| Tarjeta SD | 19.000 |
| Pila CR1220 | 12.900 |
| Batería litio 3.7V 3000 mAh | 11.900 |

Tabla 3.8: Selección de Pantalla, tarjeta SD, pila CR1220 y batería litio

3.4. Implementación del Hardware

Ya que se tiene definido cada componente de hardware, es necesario establecer las conexiones físicas entre el microcontrolador con cada módulo y sensor, en la figura 3.8 se muestra cada pin del microcontrolador ESP32-WROVER-TTGO.

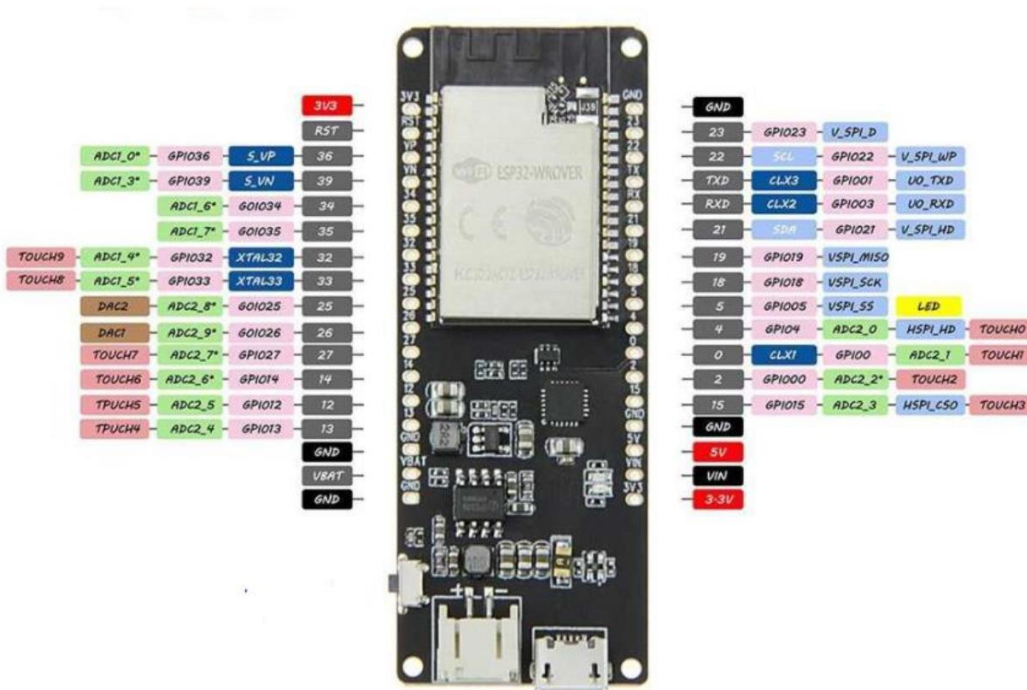


Figura 3.8: Esquema de entradas y salidas de ESP32-WROVER-TTGO

Conociendo la identificación de cada pin del microcontrolador se procede a realizar las respectivas conexiones, se establecen como lo muestra la siguiente tabla:

| Módulo | Pin | Pin de microcontrolador |
|------------------------|------|-------------------------|
| Sensor de flujo | VCC | 5V |
| | GND | GND |
| | DATO | GPIO 12 |
| Módulo de sensor de pH | VCC | 5V |
| | GND | GND |
| | DATO | GPIO 39 |
| Módulo tarjeta SD | CS | GPIO 5 |
| | MOSI | GPIO 23 |
| | MISO | GPIO 19 |
| | SCK | GPIO 18 |
| | VCC | 5V |
| | GND | GND |
| Pantalla LCD con I2C | SDA | GPIO 21 |
| | SCL | GPIO 22 |
| | VCC | 5V |
| | GND | GND |
| Módulo Reloj | I/O | GPIO 4 |
| | SCLK | GPIO 27 |
| | RST | GPIO 2 |
| | VCC | 5V |
| | GND | GND |

Tabla 3.9: Tabla de conexiones al microcontrolador

3.5. Diagrama de solución

Una vez que se estableció cuáles son los componentes del sistema, se realiza un bosquejo en 3D para tener una primera visualización de cómo se vería el sistema instalado en sitio. Para esto se realizan dos alternativas, esto debido a la forma en cómo se podría adquirir la información de pH en el agua, debido a que es recomendable tener el agua estática por lo menos 10 segundos mientras el sensor de pH industrial toma la medida.

3.5.1. Alternativa 1

Esta primera alternativa se diseña para el caso donde no exista agua presurizada, se plantea instalar una ruta alterna en la tubería, esto con el propósito que el agua tome ese camino cuando se desee realizar la medida de pH en el agua, la concepción de este sistema involucra intervenir la tubería principal, añadir un camino de tuberías, instalar electroválvulas para garantizar que el agua que transcurra por este camino alternativo permanezca estática durante un tiempo establecido. También es necesario instalar 2 sensores de flujo, el primero se encarga de dar información sobre consumo de agua y el segundo se instala en la tubería alterna para realizar una medición del agua que transcurre por esta vía y cuando el agua sea suficiente para llenar esta vía alterna, mediante el microcontrolador se dará la orden a las electroválvulas de cerrar la ruta alterna mientras que el sensor de pH toma la medición. El bosquejo de esta solución es el siguiente:

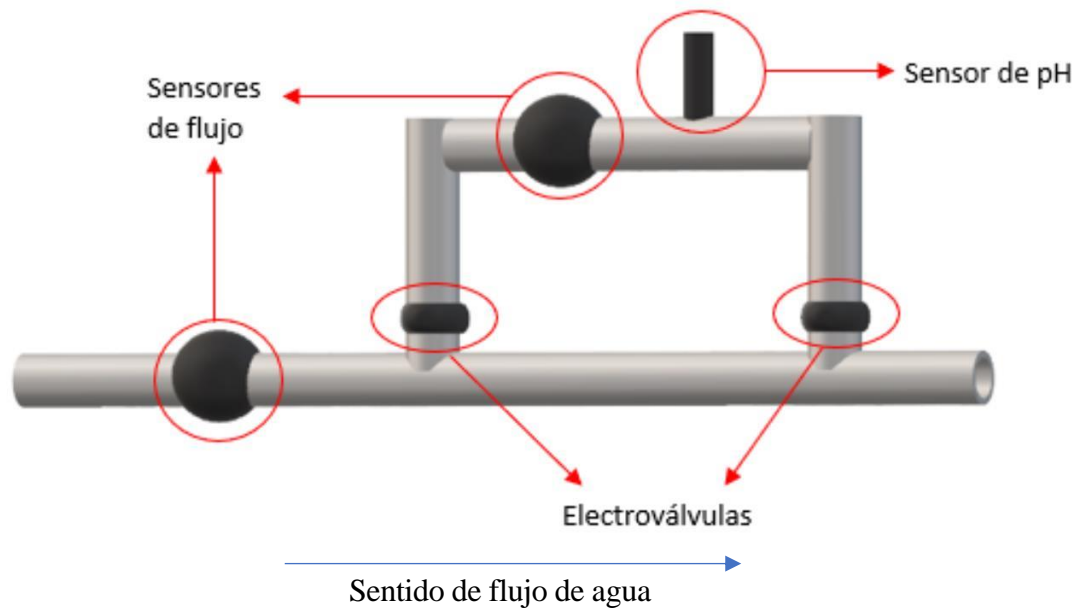


Figura 3.9: Alternativa 1, bosquejo de implementación en sitio

3.5.2. Alternativa 2

La segunda alternativa consiste en la instalación del sensor de pH al lado del sensor de flujo, sin instalar tuberías alternas, ni elementos electrónicos adicionales comparado con la alternativa 1. Esta alternativa involucra enviar información de pH en el agua siempre y cuando no exista un movimiento de agua, es decir que se envía información cuando el sensor de flujo haya medido 0 durante un tiempo mínimo de 1 a 3 min. Esta alternativa incurre en que si durante un día el flujo de agua no estuvo estático durante el tiempo establecido no se podrán contar con medidas de pH de forma periódica. El bosquejo de esta solución es el siguiente:

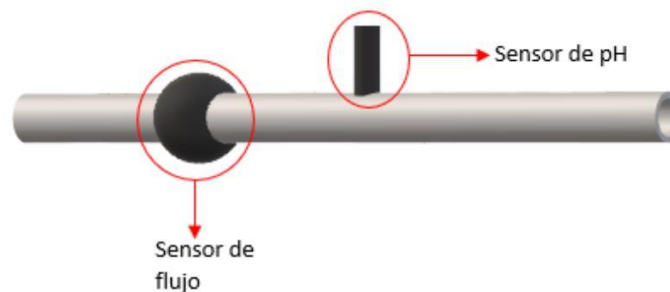


Figura 3.10: Alternativa 2, bosquejo de implementación en sitio

Entre las dos alternativas, la primera presenta la ventaja de asegurar información de pH en el agua de una forma periódica, pero presenta la desventaja presupuestal, debido a que se agregan otros elementos electrónicos que elevan el precio de la implementación. La segunda alternativa si bien no asegura tener información de pH de una forma periódica, sí presenta un menor costo para su implementación. Considerando ambas alternativas, se elige ir por la segunda, debido a que en un principio se considera que hay suficientes momentos del día en que no puede ocurrir flujo de agua durante mínimo 10 segundos, además por el factor presupuestal la segunda alternativa tiene una mayor facilidad. Sin embargo, si en un futuro se desea replicar este proyecto de grado y hay un mayor presupuesto, se recomienda estudiar la posibilidad de implementar la primera alternativa. Las dos alternativas presentan la combinación de medición de flujo de agua y pH, pero esto no necesariamente debe ser así, si se desea implementar tan solo 1 de los dos solo debe quitar del bosquejo la variable que no desee medir, a su vez, si se desea implementar otros sensores, por ejemplo más sensores de calidad de agua, en un principio constaría de instalar los otros sensores de forma continua al sensor de pH, sin embargo, se hace la recomendación de estudiar primero el funcionamiento de cada sensor adicional que se plantee adicionar en caso de que requieran otras condiciones de uso, como por ejemplo el requerimiento de tener por un mayor tiempo el agua estática en la tubería.

Al momento de querer implementar el sensor de pH hay que tener en consideración que este debe ir con un acople para la tubería, para esto se planteó el diseño de un acople tipo T para instalar el sensor en la tubería, el acople tendría la siguiente forma:

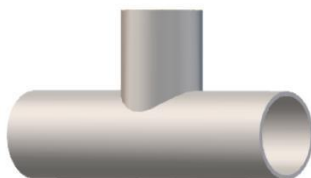


Figura 3.11: Acople para sensor de pH

Para poder diseñar este acople o poder adquirirlo en el mercado es necesario primero conocer las especificaciones físicas del sensor de pH, en las que se puede observar que este cuenta con una rosca tipo NPT $\frac{3}{4}$ " y al tener esta rosca permite que pueda ser acoplado a una tubería que cuente con un empalme para el diámetro $\frac{3}{4}$ ".

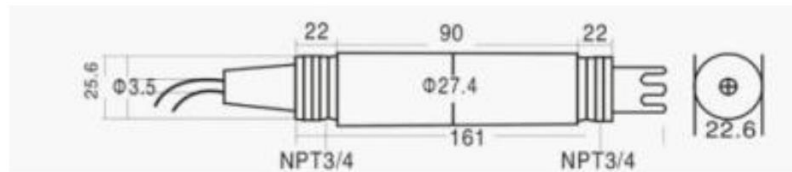


Figura 3.12: Dimensiones físicas de sensor de pH industrial.

Una vez conociendo todas las características para la instalación se procede a realizar un bosquejo final para la tubería, permitiendo tener una primera visualización de cómo quedará la instalación del sistema en una tubería, teniendo en cuenta que en el bosquejo que se presenta a continuación, la caja negra es una representación del lugar donde están ubicados el microcontrolador, módulo reloj, módulo microSD, la pantalla LCD y el módulo que acompaña al sensor de pH industrial.

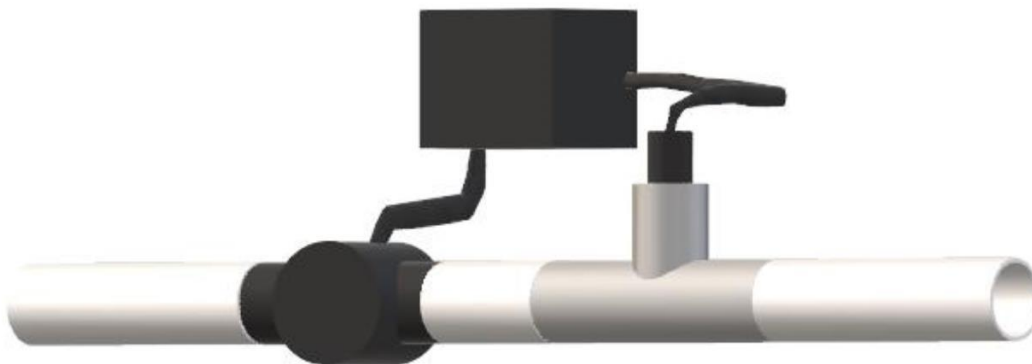


Figura 3.13: Bosquejo final de la instalación en sitio del sistema.

3.6. Implementación de software

Como se ha mencionado antes, el propósito de este proyecto de grado no es definir que Plataforma o servidor es mejor para almacenar datos, pero en cambio si lo es ofrecer una solución que puede ser replicable a cualquier plataforma. Debido al contexto de la Pontificia Universidad Javeriana Cali donde se cuenta con un servidor Energy Metrix que puede ser utilizado para almacenar los datos de consumo y calidad de agua, ha sido una prioridad en este proyecto de grado encontrar la forma en la que se pueda enlazar la información obtenida mediante el microcontrolador y el servidor Energy Metrix. Cabe aclarar que los servidores Energy Metrix de Rockwell Automation, son utilizados mayormente en entornos industriales, por lo que la metodología tradicional para subir información a estos involucra contar con sensores industriales, que envían a la información a un PLC, posteriormente se envía la información a un switch de telecomunicaciones, luego la información pasa a un servidor OPC para finalmente enlazar la información de este servidor con Energy Metrix.

Para iniciar con la implementación para el servidor Energy Metrix, se contactó con el encargado de monitorear dicho servidor en la Universidad, la persona encargada a la fecha es el Ingeniero Silver Andrés Uribe Marín quien por medio de correo dio esta información:

“Te cuento un poco del sistema, FactoryTalk EnergyMetrix se integra con una base datos SQL Server 2012, que permite contar con el almacenamiento y procesamiento de las variables de gestión de energía (o en tu caso de consumo de agua) vinculadas a cada uno de los medidores, Ej. Power Monitor 5000 que es el medidor que tenemos en cada subestación eléctrica, llevando esto a tu proyecto la plataforma permite monitorear el consumo de agua, pero el sensor y lo que desarrolles debe ser compatible con SQL y a través de IP llevar esta información al servidor. Ahora, nosotros como Recursos Físicos no realizamos la gestión de servicios en la plataforma esto lo hacemos con la empresa Omnicon S.A que es la encargada del mantenimiento y de la creación de grupos/servicios que se van a monitorear en el sistema (ejemplo esta calidad de energía y costos de la energía) esto quiere decir, que para utilizar la plataforma en medición del consumo de agua debemos contratar a Omnicon S.A para que cree los grupos y realice toda la configuración en el servidor en conjunto con el CSI.”

Teniendo esta información se procedió a contactar con la persona encargada de Omnicon S.A de realizar este servicio para la Universidad, el Ingeniero Yoan Mejía, quien brindo una idea de solución para este problema que consiste en intentar enlazar la información del microcontrolador con un Servidor OPC compatible con Energy Metrix, de esta manera si la Universidad decidiera contratarlo para implementar lo planteado en este proyecto de grado, para él sería fácil implementar lo propuesto en este proyecto de grado.

Aunque el procedimiento de conexión de microcontrolador y servidor OPC ofrece la posibilidad de almacenar datos a un servidor OPC, también resulta interesante explorar la alternativa de integrar lo propuesto para medición remota de consumo y calidad de agua potable, en un servidor SQL Server 2012, esto con un múltiple propósito, el primero el de otorgar otro camino para almacenar datos en Energy Metrix tal como lo menciona el Ingeniero Silver Andrés Uribe Marín, y como segundo, para presentar una alternativa para el almacenamiento de la información, esto debido a que SQL Server es también la alternativa de Microsoft a otros potentes sistemas gestores de bases de datos, de esta manera el proyecto de grado proporciona una alternativa para contar con una base de datos propia.

También se propone otra alternativa que es hacer uso de una plataforma online orientada para el uso de tecnologías IoT que permite el almacenamiento de datos, para esto, se utiliza Ubidots, se elige esta plataforma por su fácil implementación, por la fácil creación de un usuario debido a su campo gratuito y por las múltiples herramientas que ofrece, como por ejemplo las diferentes opciones de visualización, permite almacenar información de hasta 50 variables, lo suficiente para cubrir gran parte del campus y esto solo con su componente gratuito, además permite descargar los

datos de cada variable en una hoja de Excel con formato CSV. Sin embargo, por su componente gratuito solo permite enviar 4000 datos por día, a los datos la plataforma los llama dots, en la misma plataforma otorgan información útil de cómo hacer uso de estos dots mediante un sencillo ejemplo:

“Cada vez que un dispositivo actualiza una variable de sensor, se crea un punto de datos o dot. Por ejemplo, si tiene una estación meteorológica con 4 variables de sensores que se actualizan cada 10 minutos (ejemplo, temperatura, humedad, presión y lluvia), su dispositivo generará: 4 dots x 6 veces / hora x 24 horas x 30 días = 17.280 puntos por mes, que se ajusta perfectamente a su cuota mensual.”

Haciendo uso de ese ejemplo es posible para la Universidad, calcular el tiempo mínimo de envío de datos según la cantidad de dispositivos y variables que desee monitorear.

3.6.1. Conexión a Servidor OPC

Para iniciar a explicar esta metodología, es importante aclarar que para realizar esto se decidió explorar un camino diferente al tradicional para conectar el microcontrolador a un destino mediante programación. Esto debido primeramente a que no se encontró información clara de cómo enlazar el microcontrolador a un Servidor OPC solo con el código del microcontrolador, se encontró evidencia de que es posible hacerlo, pero la explicación de esta no era entendible e implicaba hacer una copia del código que implementaban sin saber muy bien en qué consistía. Otra razón del porque se decide utilizar otro camino para realizar este enlace, es con el propósito de encontrar una forma de conectar la información del microcontrolador a un destino de una forma más sencilla que la tradicional. Es buscando esta solución que se decide integrar a esta metodología para almacenar datos la herramienta Node-red.

Node-RED es una herramienta de programación visual. Muestra visualmente las relaciones y funciones, y permite al usuario programar sin tener que escribir una línea. Node-RED es un editor de flujo basado en el navegador donde se puede añadir o eliminar nodos y conectarlos entre sí con el fin de hacer que se comuniquen entre ellos. Para implementar Node-RED es necesario contar con una Raspberry Pi o un computador, es al dispositivo elegido a donde llega la información del microcontrolador y se encarga de realizar el enlace con el servidor OPC para así tener el camino para almacenar información de las variables en el servidor Energy Metrix. Para este proyecto de grado se utilizó un computador para el montaje de Node-RED y el servidor OPC, sin embargo, como se verá a continuación no es necesario que todo este concentrado en un solo dispositivo, debido a que esta metodología trabaja con direcciones IP dentro de una red.

Para la explicación de esta configuración no se profundizará en la programación del microcontrolador, sin embargo, es fundamental tener en cuenta al momento de trabajar con

este tipo de metodología que algunos parámetros deben configurarse correctamente como lo es la dirección IP dentro de la programación del microcontrolador, así como el nombre de las credenciales de la red en la que está trabajando el microcontrolador, debido a que en esta metodología es necesario que todos los componentes sean visibles mediante direcciones IP.

Para iniciar, instalar Node-RED es gratuito y su proceso de descarga e instalación se explica en el enlace de la organización: <https://nodered.org/docs/getting-started/local>. Debido a que se hizo la instalación de Node-RED en un computador, la dirección para entrar a configurar Node-Red será la dirección IP del computador seguido del puerto en donde está trabajando Node-RED, por defecto será el 1880, por lo tanto, la dirección para configurar Node-RED es `http://localhost:1880/`. Para iniciar esta metodología se debe definir bajo que protocolo se comunica el microcontrolador y Node-RED, entre las opciones están las que se muestran en la figura 3.14.

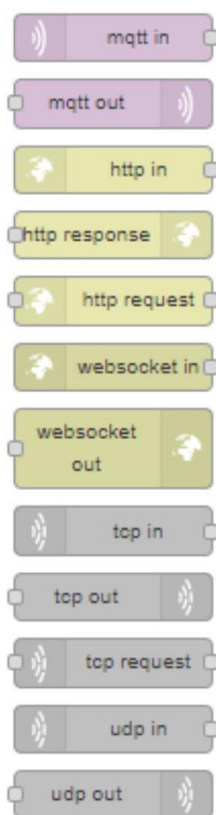


Figura 3.14: Opciones de comunicación entre microcontrolador y Node-RED

Entre las opciones que presenta Node-RED, se puede elegir entre MQTT y TCP para la comunicación entre microcontrolador y Node-RED, ambas opciones son válidas, sin embargo, la programación de MQTT resultó más compleja con respecto a TCP, debido a la descarga de un Broker MQTT en el computador y la configuración posterior con Node-RED y con el microcontrolador. En el momento de realización de este proyecto de grado la configuración con MQTT no fue posible haciendo uso de Mosquitto, debido a que el microcontrolador no reconoció el Broker MQTT instalado en el computador y esto provocó que no se realizara envíos de datos a NodeRed, sin embargo, no se descarta que una persona con mayor conocimiento sobre el software Node-RED pueda lograr que este tipo de comunicación funcione, si es que considera que es necesario implementar MQTT sobre TCP.

Al momento de intentar la comunicación por medio de TCP no existió ningún problema y la información del microcontrolador fue transmitida correctamente al computador donde está instalado Node-RED. Para trabajar con TCP es necesario asignar puertos del dispositivo de destino, en este caso el computador, para designar la ruta por donde es enviado y recibido el dato, este puerto también debe ir especificado en la programación del microcontrolador. Cabe resaltar que el programa no se limita al uso de un solo puerto, pues dentro de la programación del microcontrolador se encuentra un método para múltiple envío de datos donde por cada variable que se desee utilizar se crea un cliente y se asigna un puerto, para así llevar múltiple información simultánea y separada a Node-RED. De esta manera, es posible tratar cada puerto como una variable y si se quisiese darle diferente direccionamiento o realizar un proceso diferente con la información que entre al puerto.

Una vez definido el tipo de comunicación entre microcontrolador y Node-RED se procede a definir que programas, software o servidores son necesarios para poder contar con la información en un servido OPC. De la información obtenida por el Ingeniero Yoan Mejía de Omnicon S.A, se define que un servidor OPC compatible con Energy Metrix es el Server OPC UA KepserverEX de Kepware [31], para poder enlazarse con este, también es necesario hacer uso de un servidor OPC UA de referencia UA Expert, un servidor gratuito que hará la función de puente entre Node-RED y KepserverEX.

El primer paso que se realiza es la configuración de un canal que contiene tags dentro de KepServerEX, es a estos tags que se enlazara la información del microcontrolador, para la demostración se han creado tags con el nombre de diferentes edificios del campus de la Universidad y un tag con el nombre de la variable de calidad a la que se realiza monitoreo. Cabe resaltar que este apartado es solo de configuración de los servidores por lo que no tiene datos reales.

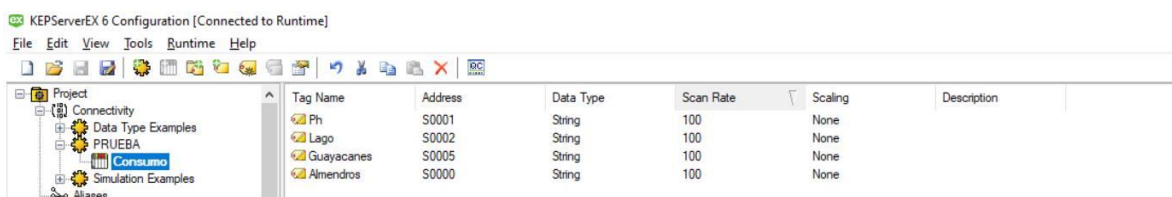


Figura 3.15: Creación de canal y tags para el monitoreo de consumo y calidad de agua potable.

En la figura anterior se visualiza que se crea un canal llamado “PRUEBA” que dentro contiene un grupo de tags de nombre “Consumo” y dentro de este grupo aparecen los tags de “Ph”, “Lago”, “Guayacanes” y “Almendros”, esto simulando diferentes sitios de la Universidad. Cada tag tiene asociada una dirección de memoria dentro de KepServerEX y un tipo de dato, en este caso el tipo de dato es String y todo dato tipo String debe empezar por una etiqueta que va desde S0 hasta S999, la razón de que las variables sean de tipo String es para garantizar su confiabilidad, cuando estas se asignan tipo flotante o alguna de sus derivaciones, se introduce información basura que implica poca fiabilidad de datos. Además, una vez inicie la ejecución del cliente del servidor KepServerEX este tipo de dato se puede modificar para configurarlo según la necesidad.

Para la configuración del servidor KepServerEX y UA Expert, la organización Kepware tiene

dos manuales de configuración titulados “Guía de comunicación por OPC UA con KepServerEX y OPC UA Client and Server Connections” en donde se detalla el paso a paso para lograr comunicar estos dos servidores, además de las diferentes opciones para garantizar la seguridad de los datos mediante credenciales. Una vez se con figura correctamente KepServerEX y UA Expert se logra apreciar una interfaz igual a esta:

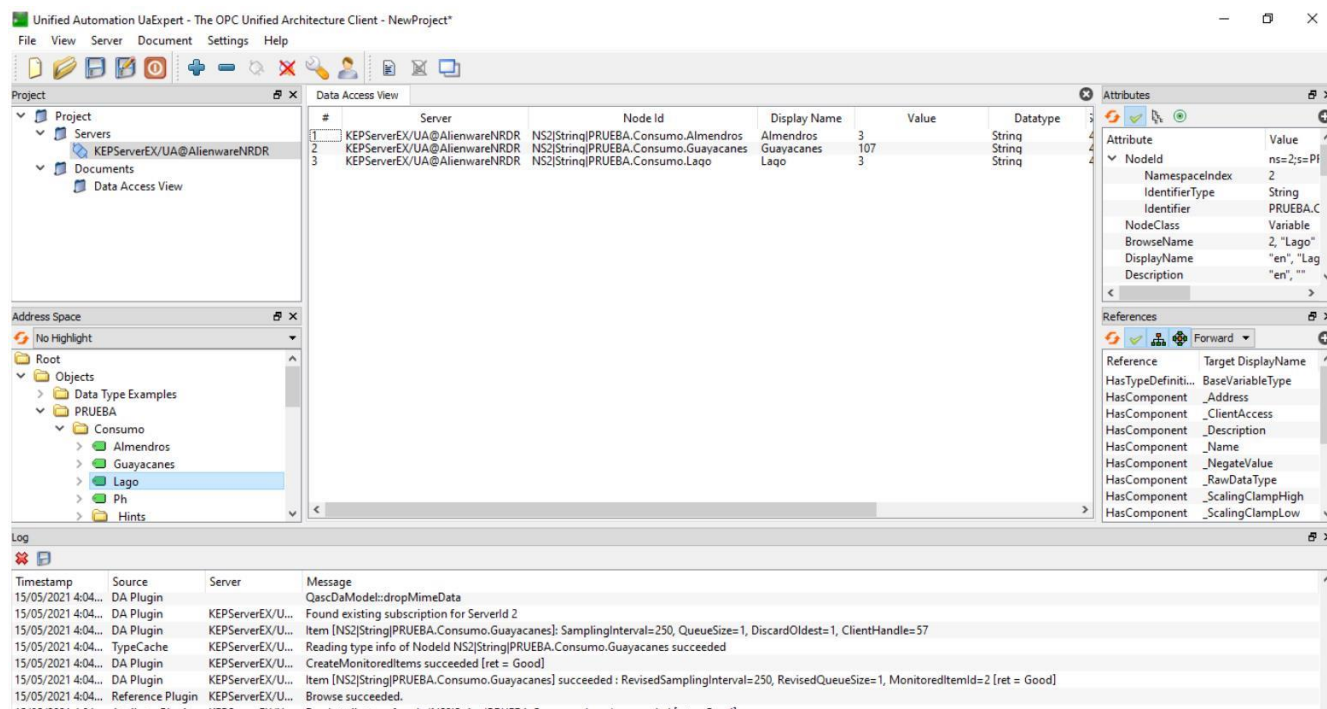


Figura 3.16: Interfaz de UA Expert.

En la figura anterior se logra apreciar como en la ventana de Project, en el índice Servers, aparece la conexión de UA Expert con KepServerEX y como en la ventana inferior se aprecia el canal de PRUEBA con su respectivo grupo de tags Consumo y los tags creados dentro de KepServerEX, cada tag se arrastra hacia la ventana de Data Access View para poder apreciar los cambios en estos. El principio de funcionamiento es escribir los datos de cada variable en UA Expert mediante Node-RED, debido al enlace existente con KepServerEX, cualquier cambio en las variables o tags se ve reflejado inmediatamente, y es de esta manera que se sube información desde un microcontrolador hasta un servidor OPC compatible con Energy Matrix. La configuración de Node-RED es la siguiente:

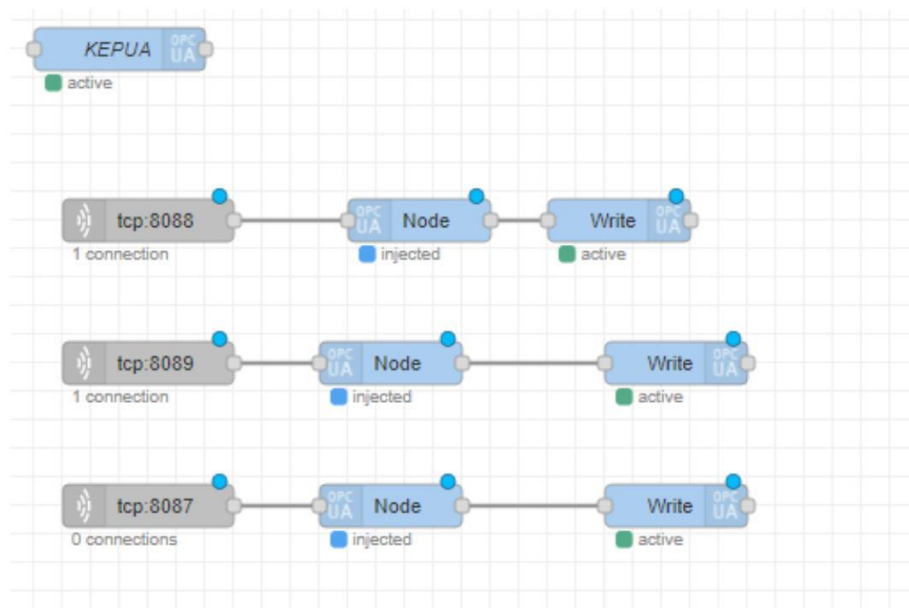


Figura 3.17: Configuración de Node-RED.

En la figura anterior se aprecia la configuración de Node-RED, lo primero que se debe hacer para utilizar esta configuración es descargar una paleta de edición de Node-RED orientada a servidores OPC UA llamada “node-red-contrib-iiot-opcua” en la página oficial de la organización explican como descargar e instalar cada paquete de paletas de edición. En la configuración de Node-RED se aprecia en la parte superior un bloque denominado KEPUA, este bloque es quien nos permite conectarnos con el servidor KepServerEX que se encuentra dentro de UA Expert, este bloque se configura de la siguiente manera:

The screenshot displays the configuration interface for an OPCUA-IIoT-Server node. At the top, there are buttons for 'Delete', 'Cancel', and 'Done'. Below this is a 'Properties' section with a gear icon and a search icon. The main configuration area is divided into tabs: 'Settings', 'Limits', 'Security', 'Users & Sets', and 'Discovery'. The 'Settings' tab is active, showing the following fields:

- Port: 49320
- Endpoint: opc.tcp://AlienwareNRDR:49320
- Alternate Hostname: KEPUA
- Delay On Close: 1000
- Name: KEPUA

Below these fields are several checkboxes:

- Auditing:
- ASO Demo:
- Show Activities:
- Show Errors:

Figura 3.18: Parámetros de configuración del servidor OPC dentro de Node-RED.

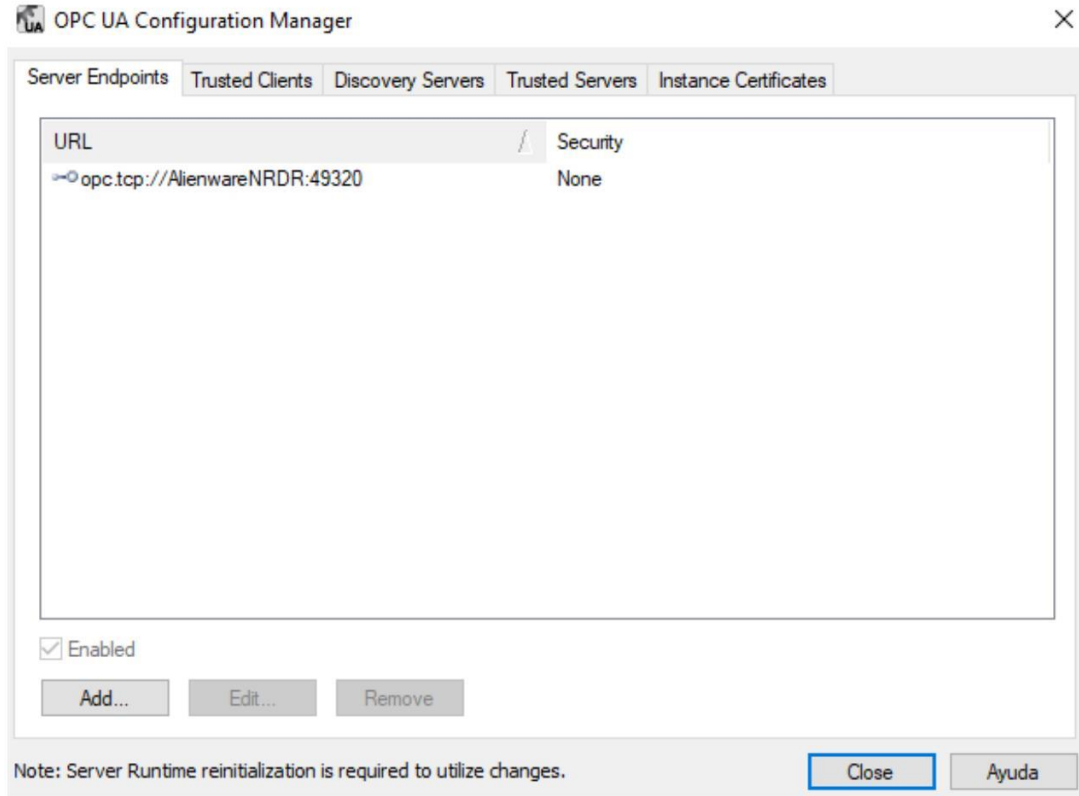


Figura 3.19: Información para configuración de los parámetros del servidor OPC.

Como se observa en la figura 3.18 los parámetros básicos de configuración son el puerto donde está trabajando el servidor OPC y la dirección IP donde está trabajando el servidor. En la figura 3.19 se muestra que mediante el programa de KepServerEX podemos acceder a la información y una vez configurada esta información se procede a darle un nombre al servidor, en este caso KEPUA. Para la realización de este proyecto de grado no se modificó los otros campos debido a que no se realizó credenciales de seguridad; pero si estas son necesarias, se debe dirigir a los manuales con los que cuenta Kepware donde brindan la información necesaria para realizar el ajuste de este parámetro de seguridad.

Una vez establecido el servidor OPC, se procede a asignar un bloque para la comunicación TCP, la configuración de estos parámetros es sencilla, solo se debe asignar el puerto por el que está ingresando la información y ajustar unas opciones tal como se muestra en la figura 3.20.

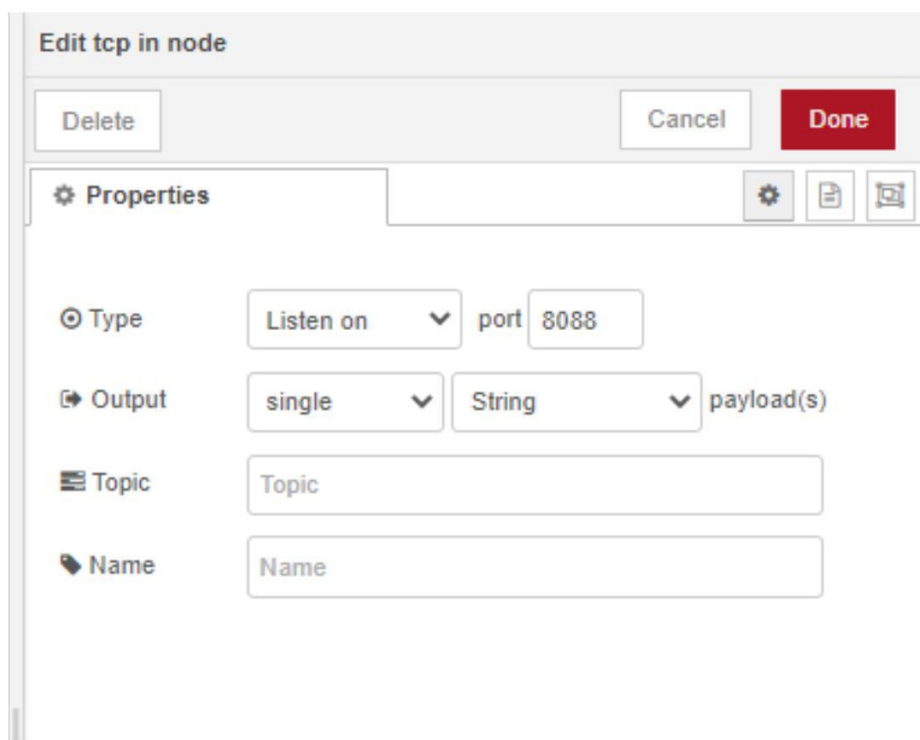
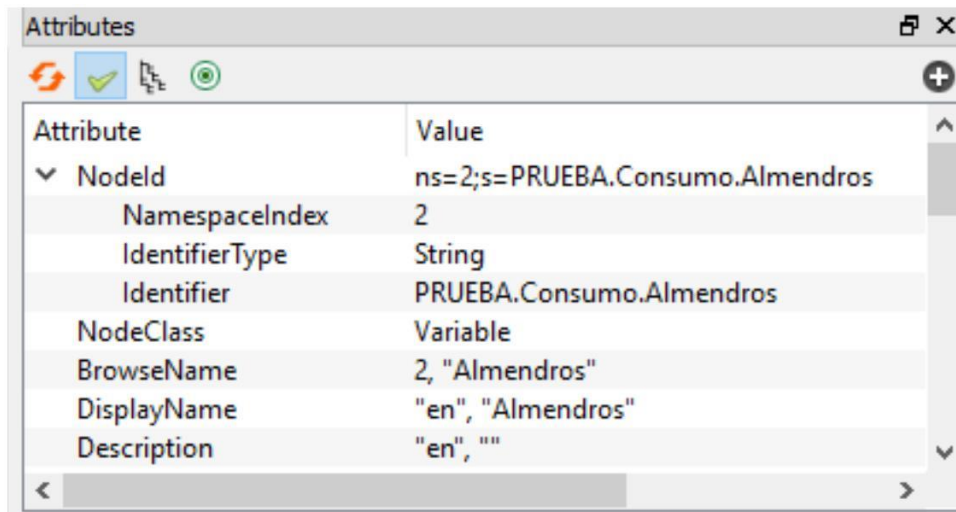


Figura 3.20: Configuración de bloque TCP

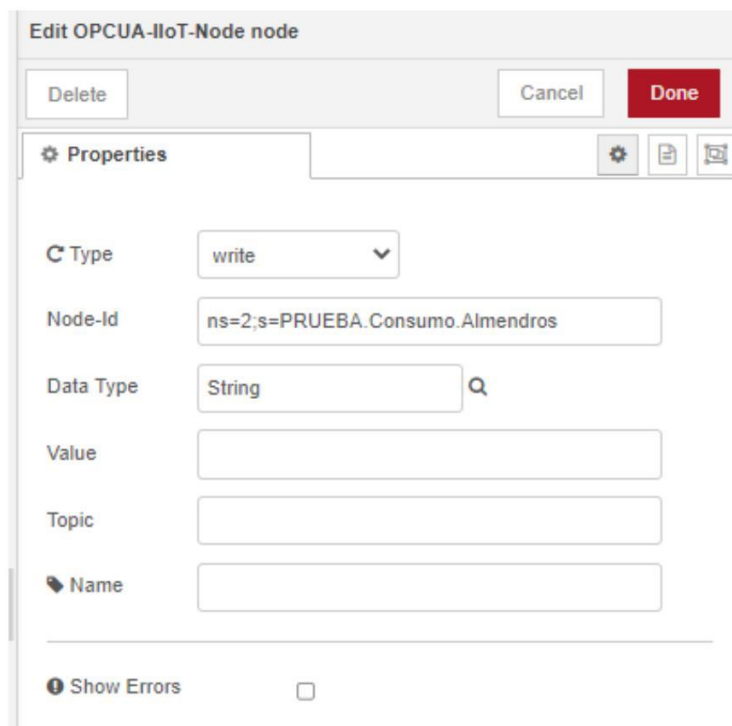
La configuración que se ve en la figura anterior es replicable para la cantidad que se requiera de entradas TCP. Una vez configurado esto se asigna un nodo delante de cada entrada TCP como se ve en la figura 3.17 dentro de cada nodo debe ir la ruta del tag en donde se va a escribir, esta ruta se adquiere de UA Expert, usando el ejemplo para Almendros la configuración es la que se observa en la figura 3.21:



| Attribute | Value |
|----------------|---------------------------------|
| ▼ Nodeld | ns=2;s=PRUEBA.Consumo.Almendros |
| NamespaceIndex | 2 |
| IdentifierType | String |
| Identifier | PRUEBA.Consumo.Almendros |
| NodeClass | Variable |
| BrowseName | 2, "Almendros" |
| DisplayName | "en", "Almendros" |
| Description | "en", "" |

Figura 3.21: Atributos del tag

En la figura 3.21 donde se visualiza los atributos del tag, en el campo NodeId se encuentra la ruta que se debe asignar al nodo en Node-RED.



Edit OPCUA-IIoT-Node node

Delete Cancel Done

Properties

Type write

Node-Id ns=2;s=PRUEBA.Consumo.Almendros

Data Type String

Value

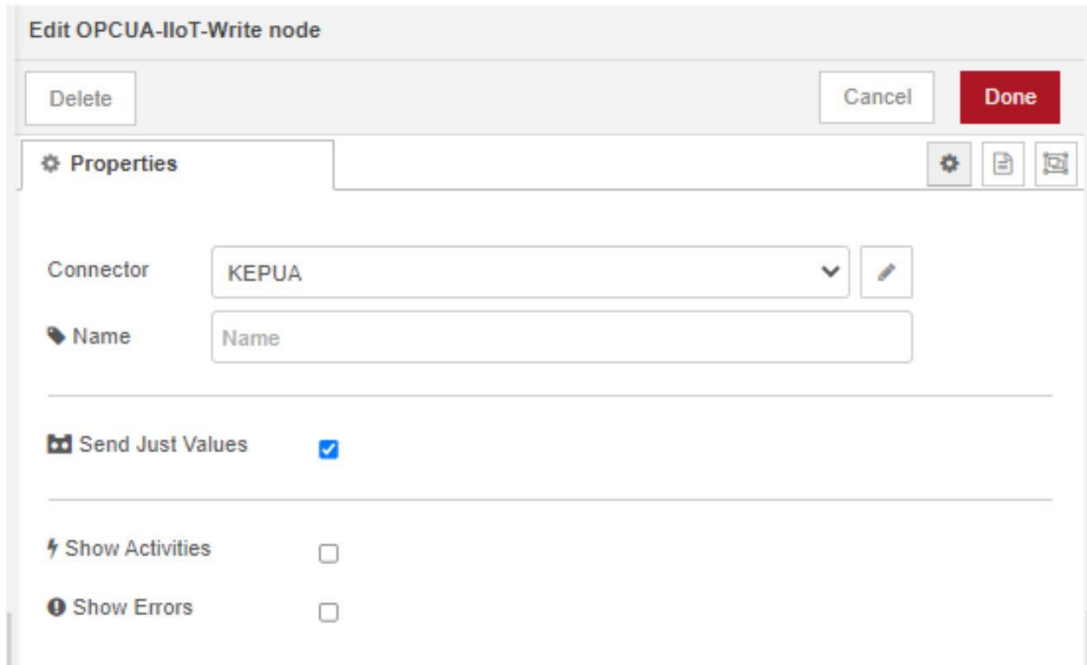
Topic

Name

Show Errors

Figura 3.22: configuración del nodo en Node-RED

La información adquirida del atributo del tag en UA Expert se ingresa en Node-RED en el nodo correspondiente, la ruta se ingresa en el campo Node-Id, el resto de los campos se establecen como lo muestra la figura 3.22. Para terminar, al conocerse la ruta del tag, es necesario conectar el bloque de Write o escribir, como lo muestra la figura 3.17, la configuración es la siguiente:



The image shows the configuration interface for an OPCUA-IloT-Write node in Node-RED. The window title is "Edit OPCUA-IloT-Write node". At the top, there are three buttons: "Delete", "Cancel", and "Done". Below the buttons is a "Properties" section with a gear icon and three utility icons (refresh, save, close). The configuration fields are as follows:

- Connector:** A dropdown menu showing "KEPUA" with a downward arrow and an edit icon.
- Name:** A text input field containing the word "Name".
- Send Just Values:** A checkbox that is checked.
- Show Activities:** An unchecked checkbox.
- Show Errors:** An unchecked checkbox.

Figura 3.23: configuración para el bloque escribir

Edit OPCUA-IIoT-Write node > Edit OPCUA-IIoT-Connector node

Delete Cancel Update

Properties

Settings Security Strategy

Discovery

Endpoint opc.tcp://AlienwareNRDR:49320

Endpoint Must Exist

Auto Select Endpoint

Keep Session Alive

Name KEPUA

Show Errors

Figura 3.24: Edición del campo Connector

Como lo muestran las figuras 3.23 y 3.24, es necesario editar el campo de Connector, en este campo como se ve en la figura 3.24, es necesario establecer la ruta del servidor OPC, que será la misma vista en la figura 3.19, se asigna el mismo nombre del bloque del servidor OPC, pero no es obligatorio. Una vez se ha realizado la correcta configuración de todos los bloques y nodos, se obtendrá un resultado como el siguiente:

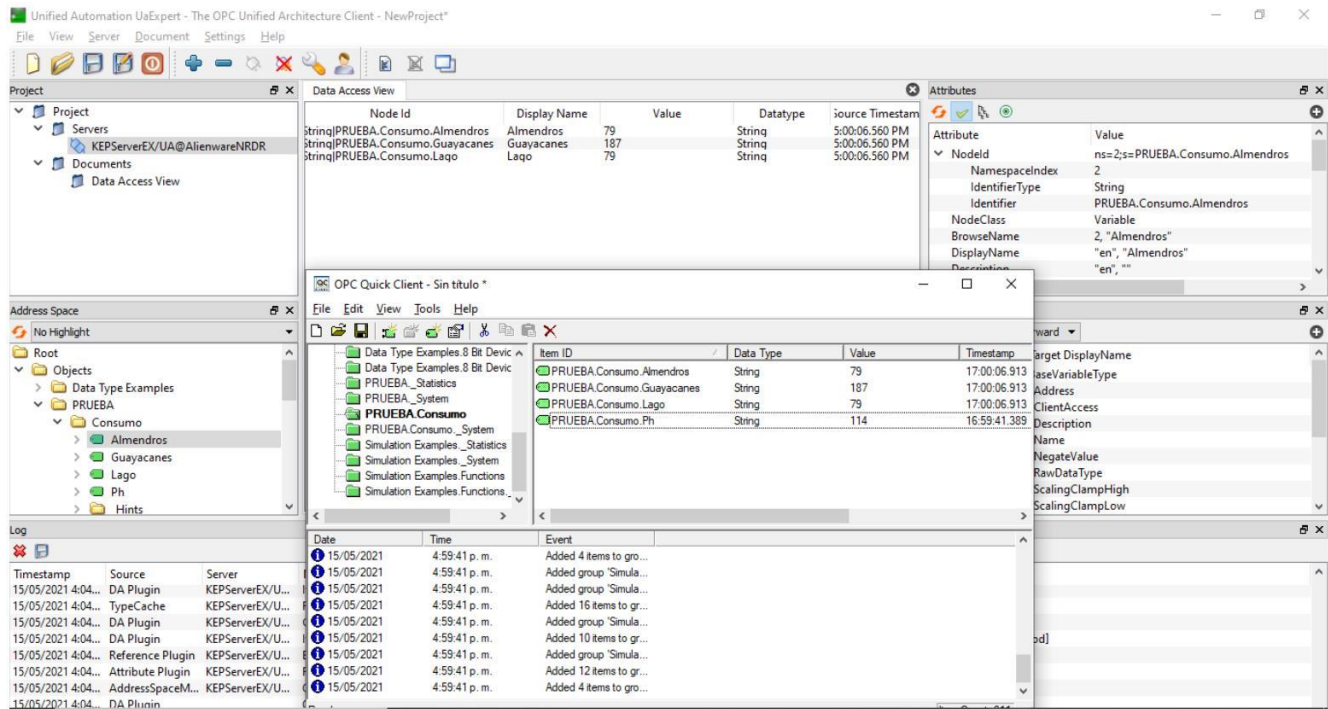


Figura 3.25: Resultado de configuración de Node-RED y servidores OPC

En la figura 3.25 se visualiza el resultado de la configuración entre microcontrolador, Node-RED y los servidores OPC UA Exper y KepServerEX, dentro del programa de KepServerEX se iniciará Quick Client para así observar los cambios producidos dentro del servidor OPC, de esta manera se corrobora que al escribir información desde Node-RED a UA Expert, esta se ve reflejada inmediatamente en el servidor KepServerEX, quien es el que permite la comunicación con el servidor Energy Metrix. Como lo menciona el Ingeniero Silver Andrés Uribe Marín, quien se encarga de realizar el último paso es la empresa Omnicon S.A junto con la coordinación del Centro de Servicios Informáticos (CSI) de la Universidad, por lo que serán ellos los encargados en un futuro de llevar a cabo esta propuesta si es que la consideran pertinente.

3.6.2. Configuración SQL Server

Para la implementación de la configuración de almacenamiento usando SQL Server se sigue haciendo uso de Node-RED debido a su facilidad para enlazar información entre un microcontrolador con un destino. Cabe recordar que este tipo de configuración toma sentido debido a la especificación que funcionamiento que informa el Ingeniero Silver Andrés Uribe Marín, además, separando el uso particular en la Universidad, SQL Server sirve como base de datos, lo que permite al proyecto de grado contar con un software que permite el almacenamiento independiente de datos, sin necesidad de estar

ligado a un servidor como lo es Energy Metrix o a una plataforma online como lo puede ser Ubidots.

Aunque se conoce que la universidad cuenta con este software, lo que implica que ya está configurada, a continuación, se procederá a explicar aspectos necesarios en SQL Server para lograrla adecuada comunicación con Node-RED (Figura 3.26 y Figura 3.27). Cabe recalcar que la comunicación entre microcontrolador y Node-RED sigue la misma configuración realizada para el servidor OPC.

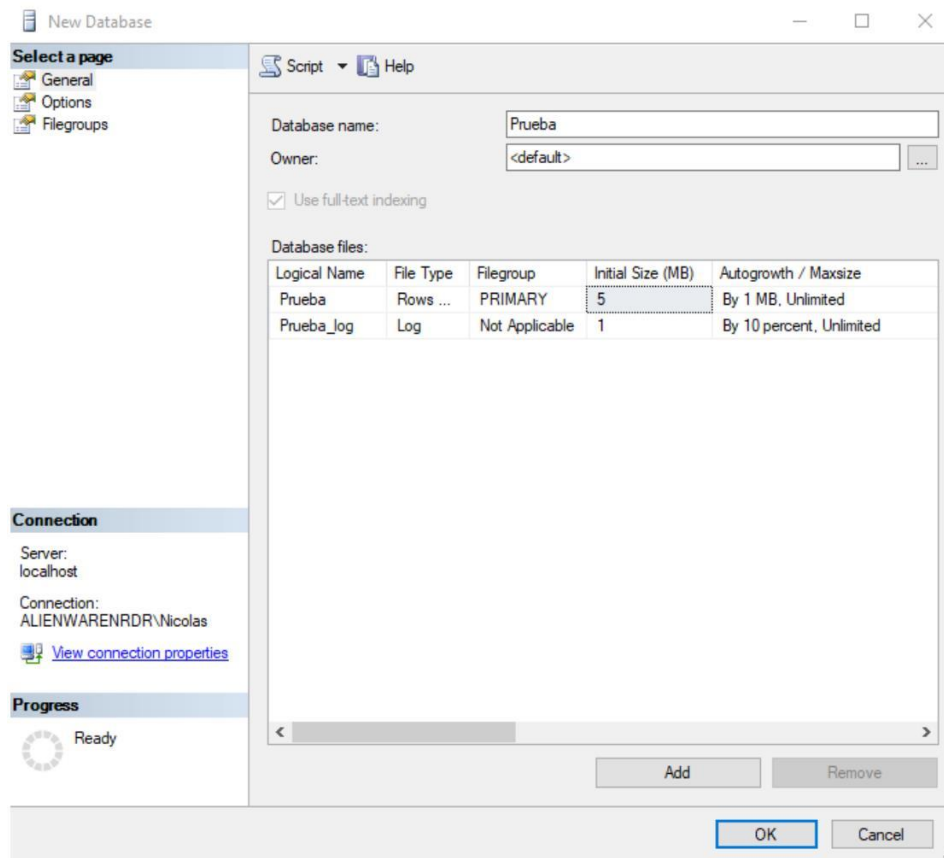


Figura 3.26: Creación de base de datos en SQL Server

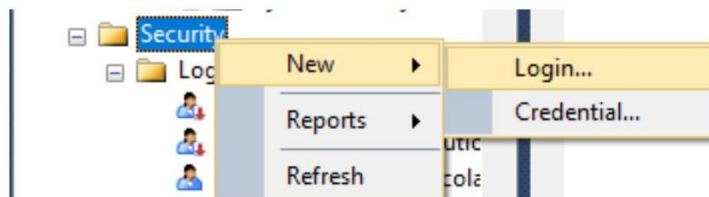


Figura 3.27: Crear usuario

El primer paso de la configuración en SQL Server es la creación de una base de datos. Como la vista en la figura 3.26, como ejemplo se asigna el nombre de “Prueba”, posterior a esto se crea un usuario como medida de seguridad (Figura 3.27), que para el ejemplo se crea con el nombre de NodeRedUser, dentro de la pestaña que se despliega al momento de crear el usuario es necesario marcar la opción SQL Server Authentication, además de asignar una contraseña a este nuevo usuario. Para el nuevo usuario es necesario asignar permisos dentro de la base de datos Prueba para que este pueda leer o escribir, o ambas, estas opciones se ven marcadas en la figura 3.28.

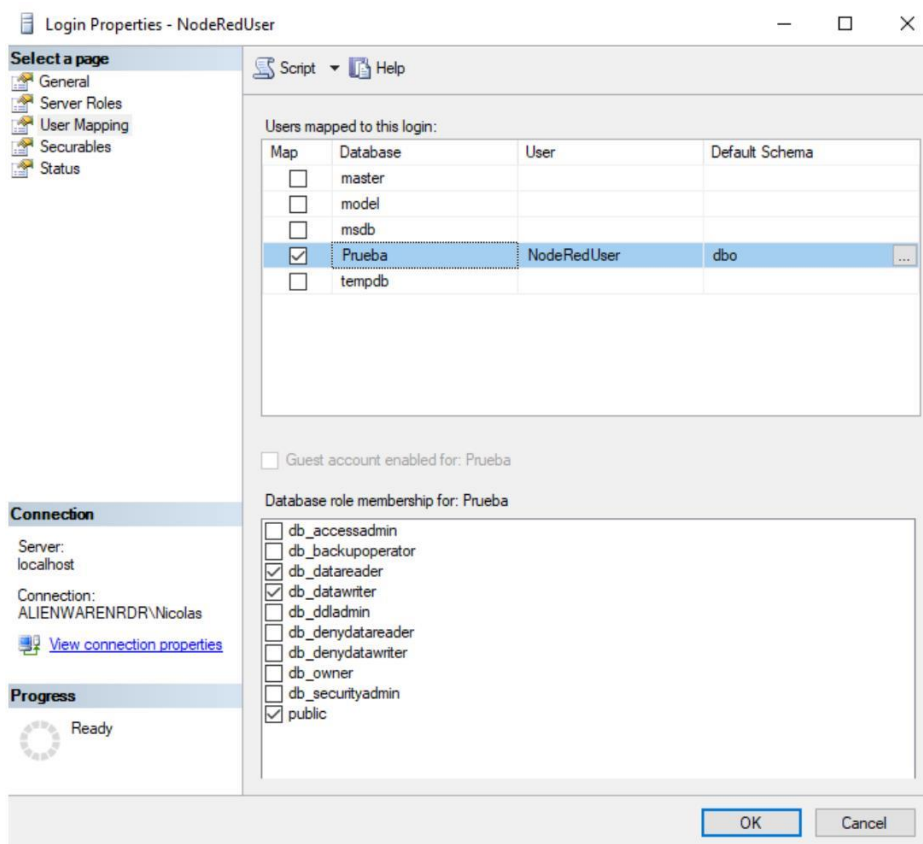


Figura 3.28: Permisos de usuario

Una vez realizada la correcta configuración del usuario, dentro de la rama de la base de datos “Prueba”, en el índice de seguridad es posible observar al usuario NodeRedUser. Ya creado correctamente el usuario se continúa con la creación de una tabla dentro de SQL Server, donde se deben asignar los campos o columnas que contiene, esto se aprecia en la figura 3.29, para este caso de ejemplo se crean los campos Topic, Payload y Tiempo, en donde Topic está pensado que contiene la información del edificio de donde se planea obtener información de consumo de agua o calidad de agua, Payload está designado como el campo donde se registra la información de consumo.

y por último Tiempo está establecido como el campo donde se almacena la fecha y hora de cuando se subió la información a SQL Server.

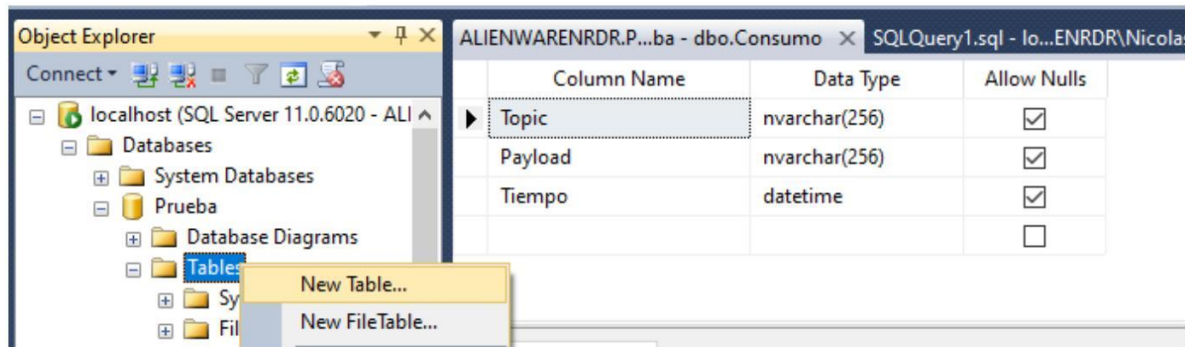


Figura 3.29: Creación y configuración de tabla en SQL Server

Una vez se realiza la correcta configuración en SQL Server, se procede a realizar la Programación en nodos en Node-RED. Como se puede observar en la figura 3.30, a diferencia de la configuración para el servidor OPC, es necesario agregar un bloque de función, es en este en donde se establece la ruta para el almacenamiento de datos en SQL Server. El campo de función contiene en su interior el código apreciado en la figura 3.31, en donde en términos generales, en las primeras 7 líneas de código se obtiene la información de la fecha y la hora para ser subidas al campo “Tiempo”. En la línea 9 se encuentra el comando necesario para subir información a la tabla “Consumo” que se encuentra en la base de datos “Prueba” en SQL Server, la línea 10 contiene el orden de los campos en donde se subirá la información y la línea 11 contiene los valores para ser asignados a los campos o columnas en SQL Server.

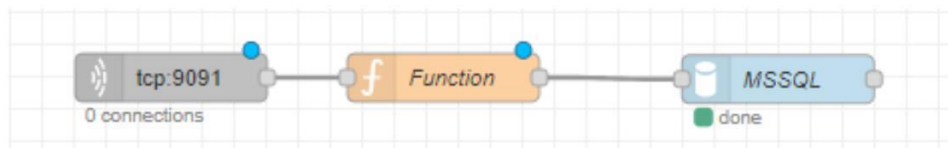


Figura 3.30: Conexión de bloques o nodos en Node-RED

```
1 d = new Date(),
2 dformat = [d.getMonth()+1,
3   d.getDate(),
4   d.getFullYear()].join('/')+' '+
5   [d.getHours(),
6   d.getMinutes(),
7   d.getSeconds()].join(':');
8
9 pld =      "INSERT INTO [Prueba].[dbo].[Consumo] "
10 pld = pld + "(Topic, Payload, Tiempo) "
11 pld = pld + "VALUES ('Almendros', '" + msg.payload + "', '" + dformat +
12
13 msg.topic = ''
14 msg.payload = pld
15 return msg;
16
17
18
19
20
```

Figura 3.31: Código de la función en Node-RED para realizar enlace con SQL Server

En la figura 3.31, se observa en la línea 11 que se está simulando un suministro de información al edificio Almendros, esto siguiendo una asociación para cada puerto TCP de entrada, es decir que al puerto 9091 (Ver figura 3.30) se le asigna el edificio Almendros, de esta manera se puede identificar que por este puerto se va a obtener información de consumo de agua del edificio Almendros, si se quisiera cambiar el edificio por otro edificio o zona del campus es necesario entrar a NodeRed y cambiar el nombre del edificio y este nuevo nombre debe corresponder con un nombre de “Topic” que se asigna en SQL Server. Posterior a realizar lo visto en la figura 3.31, se procede a configurar el nodo MSSQL, es aquí donde se establecerá mediante dirección IP la ruta para alojar los datos dentro de SQL Server, a su vez se configura la credencial establecida en SQL Server para permitir subir datos en este caso es “NodeRedUser”. A continuación, se muestra cómo se realiza esta configuración y los campos en donde debe configurarse cada parámetro (Figura 3.32 y figura 3.33):

The image shows a configuration window titled "Edit MSSQL node". At the top, there are three buttons: "Delete", "Cancel", and "Done". Below the buttons is a "Properties" section with a gear icon and a search icon. The configuration is organized into several rows, each with a label on the left and a control on the right:

- Connection:** A dropdown menu showing "Prueba" and a pencil icon for editing.
- Name:** A text input field containing "MSSQL".
- Query mode:** A dropdown menu showing "Query".
- Query:** A text input field containing "msg. payload".
- Parameters:** A text input field containing "msg. queryParams".
- Output property:** A text input field containing "msg. payload".
- Output type:** A dropdown menu showing "Original output".
- Error Handling:** A dropdown menu showing "Send in msg.error".

Figura 3.32: Primera pestaña de configuración de nodo MSSQL

Edit MSSQL node > Edit MSSQL-CN node

Delete Cancel Update

⚙ Properties ⚙

📁 Name Prueba

📁 Server localhost

🔌 Port 1433

👤 Username NodeRedUser

🔒 Password

👤 Domain

📁 Database

📁 TDS Version 7_4 (SQL Server 2012 ~ 2019) ▼

Figura 3.33: Segunda pantalla de configuración de nodo MSSQL

Al realizar correctamente cada paso se tiene como resultado lo visto en la figura 3.34, en donde se puede apreciar que la información es ingresada a la base de datos “Prueba” donde la tabla “Consumo” tiene en sus campos la información del edificio de la Universidad, en este caso Almendros”, la información del consumo en el campo “Payload” y por último en el campo “Tiempo” la fecha y hora en que se ingresó la información.

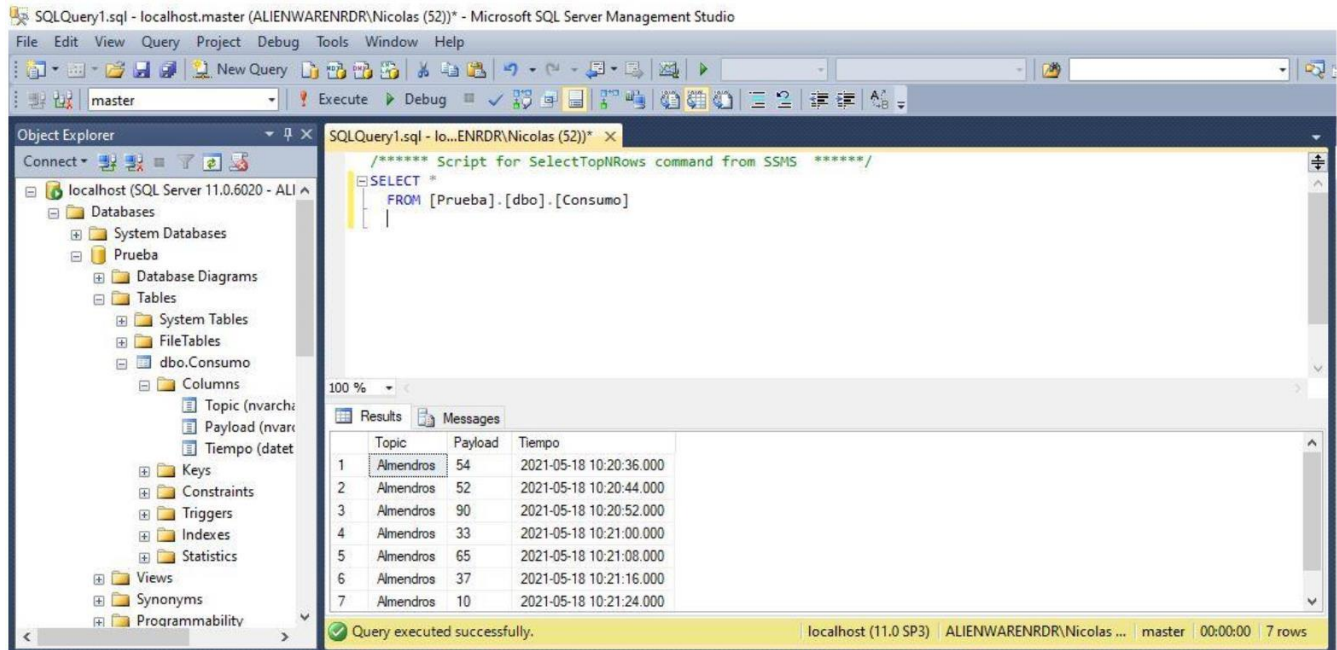


Figura 3.34: Información de consumo almacenada en SQL Server

3.6.3. Configuración Ubidots

Para realizar la configuración para el almacenamiento de datos en la plataforma Ubidots [32], no se hará uso de Node-RED, solo con el fin de mostrar otra metodología diferente, aunque es posible enlazar Node-RED con Ubidots, pues todo lo necesario para la conexión se puede realizar en la programación del microcontrolador. Para iniciar con la metodología de esta configuración es necesario primero crear un usuario dentro de la página web de Ubidots, para el uso de este proyecto de grado se hace uso del componente gratuito y académico que ofrece la organización, una vez creado el usuario, se debe crear un dispositivo tal como lo muestra la figura 3.35, en este caso para la configuración se crea un dispositivo llamado “ESP32”, cabe recordar que cada dispositivo tiene una capacidad de hasta 50 variables.

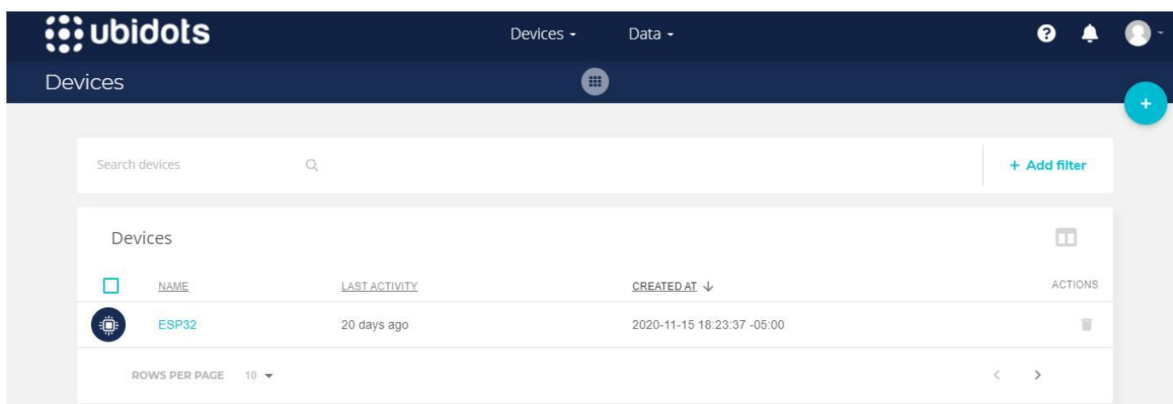


Figura 3.35: Interfaz de dispositivos en Ubidots

Una vez dentro del campo dispositivo “ESP32” se procede a crear las variables que se desean monitorear, debido a que es solo la configuración aún no se sube información real dentro de

cada variable, como se puede ver en la figura 3.36, se ha creado tres variables de prueba denominadas “Almendros”, “ph” y “sensor”, cada variable creada será el lugar donde se almacenará la información proveniente del microcontrolador. La programación del microcontrolador consiste en la configuración de credenciales de una red para hacer uso de Internet, así como las credenciales de acceso para cada variable dentro de Ubidots. El protocolo de comunicación entre la plataforma Ubidots y el microcontrolador es MQTT. De Ubidots es necesaria información para el acceso, esta información es el TOKEN y API Label, se asignan al momento de creación de un dispositivo, en la figura 3.36 se puede apreciar el campo en la ventana que se encuentra a la izquierda, el Token no es editable, pero el API Label sí.

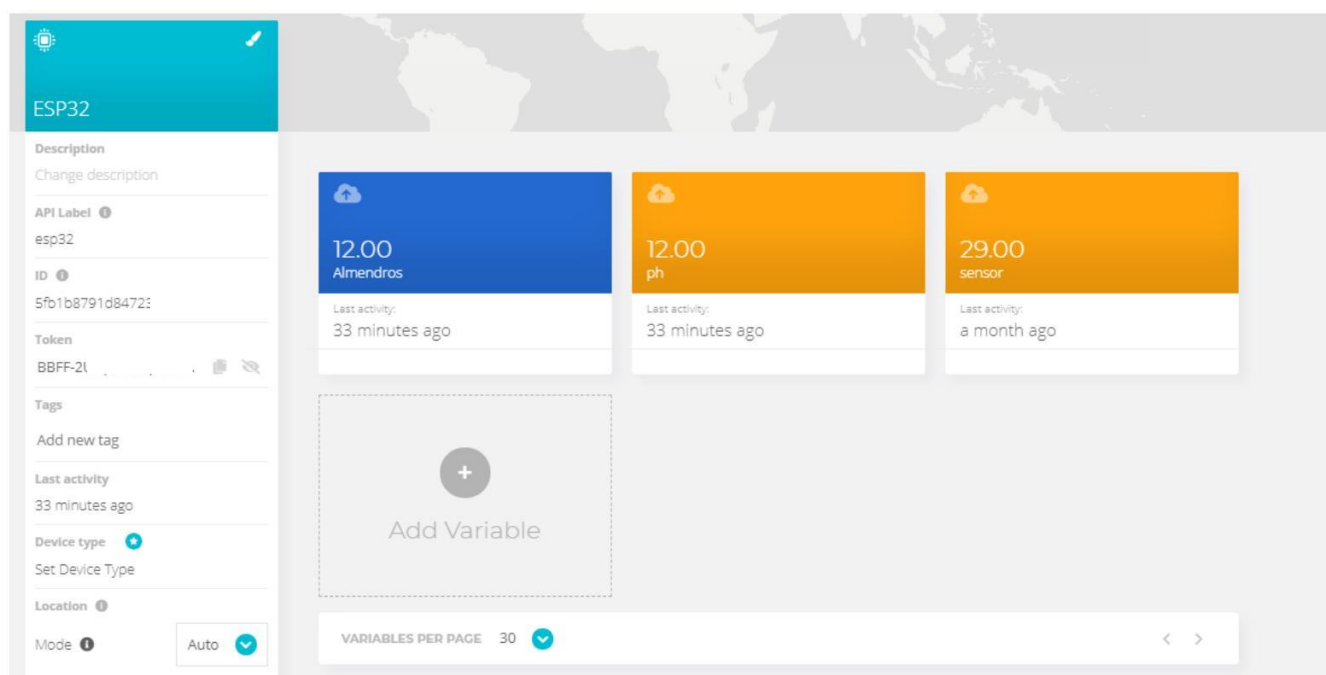


Figura 3.36: Interfaz de Ubidots para dispositivo

Con el token que se aprecia en la figura 3.36, el microcontrolador reconoce un primer camino para subir información a la plataforma, solo falta una última información a la ruta y es el API Label de cada variable, en la figura 3.37 se puede apreciar que este API Label se encuentra en la ventana a la izquierda. Una vez se tiene estas credenciales, se establece una ruta para que el microcontrolador suba información a las variables creadas dentro del dispositivo, sin esta información es imposible que el microcontrolador se comunique con Ubidots, por lo que es lo más importante de configurar dentro de la programación del microcontrolador.

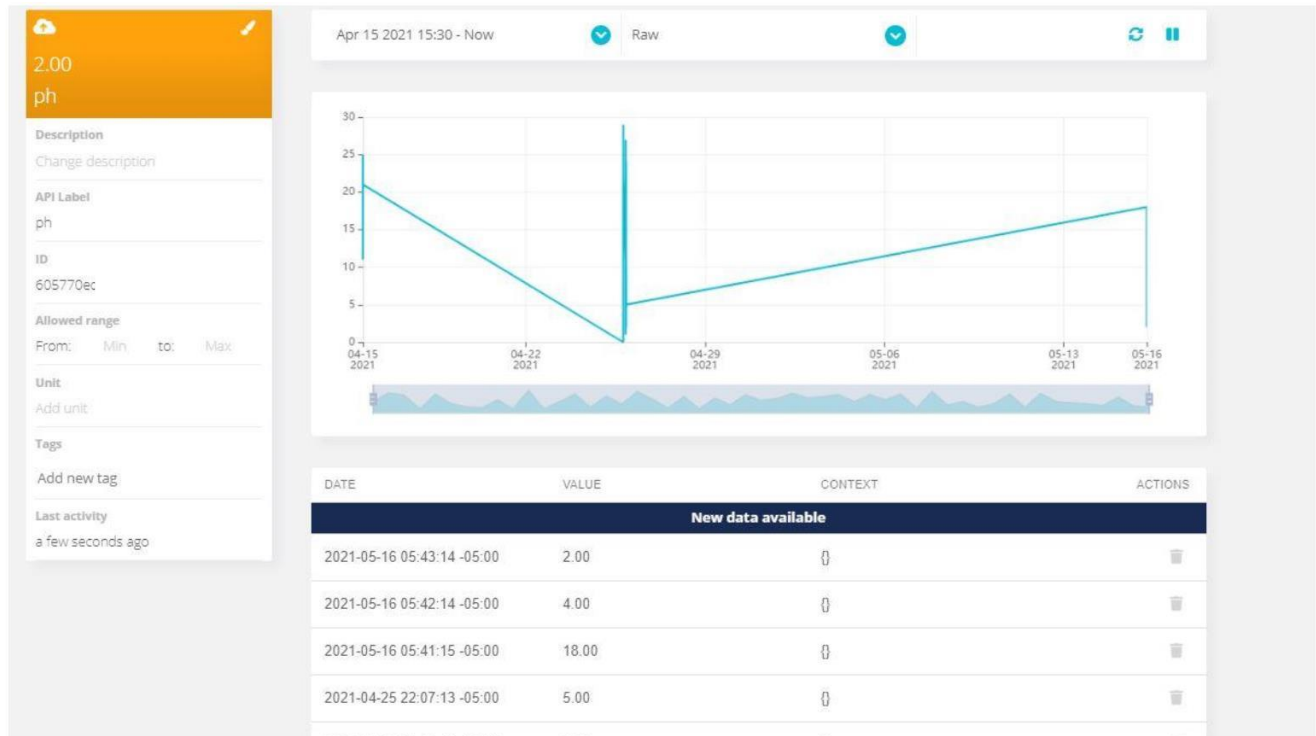


Figura 3.37: Interfaz de variable en Ubidots

Al momento de contar con información dentro de cada variable, se procede a la creación de Dashboards que son herramientas de visualización de la información almacenada, como ejemplo se han usado una tabla de datos y una gráfica de línea como se puede apreciar en la figura 3.38, de esta manera es posible monitorear remotamente la información de una o varias variables.

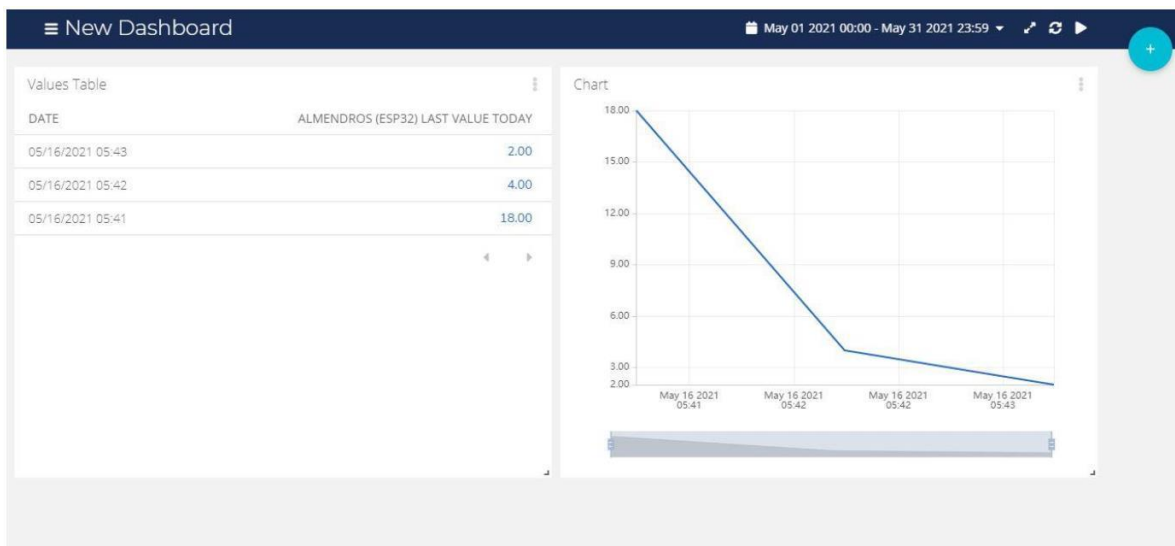


Figura 3.38: Dashboard Ubidots

3.7. Validación de resultados

La idea planteada en este proyecto de grado que consiste en un monitoreo remoto de variables mediante internet ha sido validada en diferentes eventos fuera del campo académico, el primero fue en la Cali-Hacktech realizada por la gobernación de Cali, en donde se consiguió el segundo puesto proponiendo una idea de monitoreo de CO2 de forma remota dentro de la ciudad de Cali, esta propuesta siguió el mismo esquema de solución presentado en el proyecto de grado.



Figura 3.39. Certificado de participación en Cali Hacktech 2020.

Viendo el resultado obtenido en la Cali-Hacktech 2020 para el semestre 2020-2 se plantea la idea exacta de este proyecto de grado en el curso de emprendimiento de la Javeriana Cali ofrecido por Campus Nova bajo el nombre de Monsoltech R&A, durante el transcurso del curso los mentores se mostraban interesados en la ejecución de la propuesta y proponían las ideas o contactos para poder hacer realidad lo presentado durante el curso, finalmente al ser uno de los grupos destacados se contó con la oportunidad de recibir mentorías durante un evento virtual “Mentoring Sessions in Inova Trade Show BRAZIL 2020”.



Figura 3.40. Certificado de participación en curso de emprendimiento Campus Nova.

Finalmente, esta idea al tener un trayecto anterior durante el proyecto de integración profesional de la carrera de Ingeniería Electrónica fue presentada en el Tercer Encuentro Javeriano de Semilleros de Investigación 2020, en donde nuevamente captó el interés de las personas involucradas en este evento.



Figura 3.41. Certificado de participación en el Tercer Encuentro Javeriano de Semilleros de Investigación 2020.

Implementación y pruebas

4.1. Plan de pruebas y resultados

Las pruebas realizadas al sistema fueron con el propósito de corroborar el correcto funcionamiento de los sensores y su posterior envío de datos a las diferentes plataformas para almacenar datos. Se inició con la prueba del sensor de consumo de agua YFS-201, para este sensor no se contó con la posibilidad de comparar con respecto a un medidor patrón para asegurar la fiabilidad de la información generada por este sensor, sin embargo, este sensor cuenta con un datasheet [30] en donde se presenta la relación entre salida y flujo de agua, la siguiente tabla muestra dicha relación:

| Flow (L/H) | Frezq.(HZ) | Erro range |
|------------|------------|------------|
| 120L/H | 16 | ±10 |
| 240L/H | 32.5 | |
| 360L/H | 49.3 | |
| 480L/H | 65.5 | |
| 600L/H | 82 | |
| 720L/H | 90.2 | |

Tabla 4.1. Relación entre frecuencia de la señal de salida y flujo de agua para sensor YFS201

La primera etapa fue la de simulación de los datos del sensor, consistió en una simulación de la salida del sensor mediante un generador de señales, utilizando el montaje que se observa en la figura 4.1. Se realizó ajustes en el código del microprocesador para obtener los datos más aproximados a lo mostrado en la tabla 4.1, al finalizar las pruebas se pudo concluir que existe un error de $\pm 15\%$, debido a que no se logró conseguir mediante el código la relación exacta que indica la tabla 4.1, pero si algunos datos muy aproximados, además se tiene en cuenta el rango de error que indica el sensor de flujo YFS201. Este es el único método para ajustar los datos de flujo que posteriormente dentro del microcontrolador se convierten en consumo (L), no existió oportunidad de comparar con datos reales debido a la falta de instrumentos fiables para comparar los datos. Si fuese posible encontrar un instrumento o medidor para calibrar el sensor de flujo, se debe modificar dentro del código del microcontrolador una función denominada factor de conversión que se crea específicamente para la calibración del sensor.

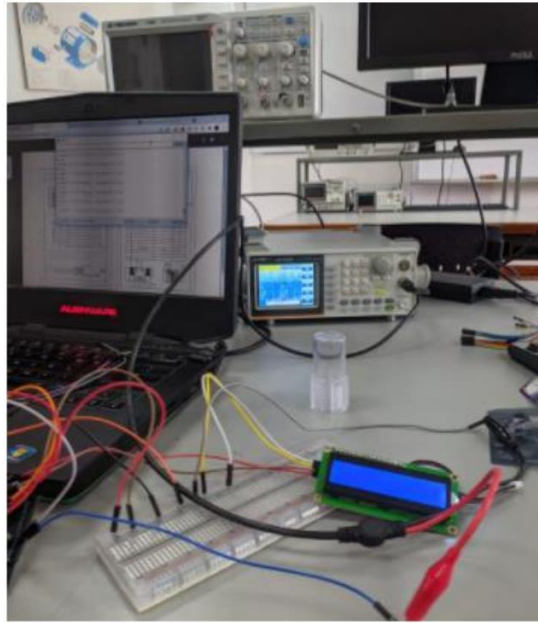


Figura 4.1. Simulación de datos de flujo de agua mediante generador de señales

Luego de simular los datos del sensor de flujo, se procedió a calibrar el sensor de pH, para esto se hizo uso de una solución buffer de pH con valor de 7.0 (Figura 4.2), esta primera calibración es necesaria para asegurar que los datos que genera el sensor son fiables.



Figura 4.2. Solución buffer de pH con valor de 7.0 para calibración de sensor

Luego de calibrar el sensor con la solución buffer de pH se procedió a realizar pruebas en la estación de flujo de agua que se encuentra en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, laboratorio Guayacanes. Como se puede apreciar en la figura 4.3, se encuentran instalados en las tuberías tanto el sensor de flujo, como el sensor de pH.



Figura 4.3. Instalación de sensor de pH y sensor de flujo en estación de flujo de agua



Figura 4.4. Datos de consumo y pH de agua potable en pantalla LCD.

Se realizó la prueba del sistema en la estación de flujo de agua con ambos sensores funcionando y los datos visualizándose en la pantalla LCD (Figura 4.4), cabe recalcar que para esta ocasión el sensor de pH se ubica en la posición que se ve en la figura 4.3, debido a que la sección que se permitió modificar de la estación de flujo de agua no contaba con la oportunidad de presurizar la tubería, por lo que se prefirió ubicar el sensor en esa posición para garantizar medidas de pH. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

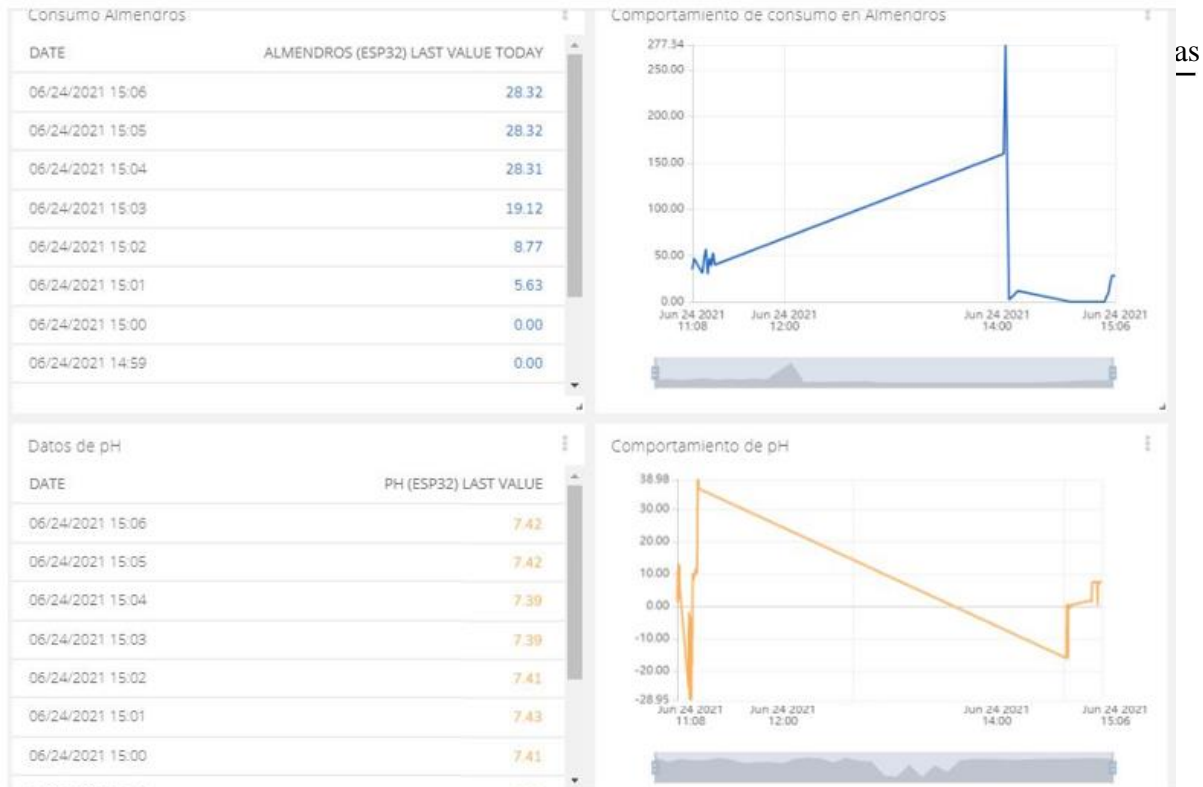


Figura 4.5. Datos de los sensores en la plataforma Ubidots.

Los resultados almacenados en Ubidots (Figura 4.5) fueron satisfactorios, en el caso de ambas variables cabe recordar que mediante código en el microprocesador se establece que el envío de datos se realiza cada minuto, para ambas variables los primeros datos que se observan en la gráfica hacen alusión a las primeras pruebas de calibración o ajuste tanto del sensor como del código dentro del microprocesador. Teniendo en cuenta el ritmo de flujo de agua que genera el motor de la estación de flujo de agua, el dato de consumo que se muestra en Ubidots (Figura 4.6 tabla esquina superior izquierda) es aceptable, los datos de pH (Figura 4.5 tabla esquina inferior izquierda) son próximos a 7.4 lo que significa un buen rango de pH, considerando que fue agua potable con que se estaba haciendo la prueba. Sin embargo, se hace alusión nuevamente a la necesidad de contar con medidores patrones que permitan verificar los datos que se registran en las diferentes plataformas web, y se recalca que con la Universidad no fue posible hacer uso de algún equipo patrón.

En esta ocasión se hace solo visualización de los resultados en Ubidots debido a que para hacer uso del servidor OPC y SQL Server, se recomienda tener el servidor (que en este caso se trataba de un computador personal) con una conexión a la red mediante Ethernet, pero esto no fue posible durante la visita a la Universidad. Se intentó realizar las pruebas con la conexión del servidor a la red mediante Wifi, pero esto provocó un comportamiento inestable del servidor, obteniendo comportamientos en donde en ocasiones los datos se podían visualizar correctamente, pero en otros momentos tomaba mucho tiempo en actualizar un solo dato. Esta característica es debido al uso de NodeRed, al trabajar solo en red local mediante direcciones IP se logró evidenciar que es necesario un comportamiento estable de la red para poder garantizar el correcto funcionamiento del servidor OPC o SQL Server. Cabe aclarar también que las pruebas no estaban enfocadas en mirar el correcto funcionamiento de estos servidores debido a que esto ya se corroboró con diferentes pruebas que se hicieron sin los

sensores, las pruebas mencionadas en esta sección eran con la finalidad de probar los sensores en campo y poder visibilizar su información mediante una de las tres plataformas (en este caso fue Ubidots), pero si se hace uso de una conexión Ethernet hay garantía que los otros dos servidores funcionen correctamente.

Una vez finalizadas las pruebas y verificando que el sistema procedió a sacar un total de costos de la implementación por un solo dispositivo, esto con el fin de compararlo frente a una solución tradicional de monitoreo de una variable en un entorno industrial. Con la ayuda del Ingeniero electrónico Guillermo Guerrero supervisor de Mantenimiento en Unilever HPC, empresa en donde también se cuenta con Energy Metrix, se logra comparar los costos de implementación de la solución propuesta en este proyecto de grado con una solución tradicional, en este caso solo para la variable pH, los costos se aprecian en la tabla 4.2:

| Elementos | Costo solución de proyecto de grado | Costo solución tradicional |
|--|--|-----------------------------------|
| Sensor de pH | \$ 277.272 | \$ 2.000.000 |
| Controlador | \$ 55.930 | \$ 9.448.000 |
| Módulos y accesorios | \$ 65.696 | \$ 0 |
| Costo de cableado | \$ 100.000 | \$ 1.200.000 |
| Costo de trabajo (Incluye trabajo en alturas) | \$ 0 | \$ 800.000 |
| Licencia | \$ 1.814.870 | \$ 0 |
| Total | \$ 2.313.768 | \$ 13.448.000 |

Tabla 4.2. Comparación de costos

Para la comparación solo se tuvo en cuenta lo estrictamente necesario para implementar una de las dos soluciones y considerando la instalación de un solo dispositivo para un único punto de medida, omitiendo el costo de otros componentes que son básicos y pueden no entrar en los costos, como puede ser tomacorriente, infraestructura de red, computadores, etc. En la solución tradicional Industrial el controlador resulta más costoso debido a que se usa un PLC. El costo del trabajo tiene ese valor debido a que se consideran los trabajos en alturas que deben realizarse debido a la presencia de cableado, lo que implica entonces tanto el alquiler de un andamio o polipasto, como el pago a una persona que tenga permiso de trabajo en alturas, costos que no suceden en la solución propuesta con este proyecto de grado, finalmente debido a que la licencia de KepServerEx es de un único pago, el costo por cada dispositivo termina siendo aproximadamente de \$498.898 COP.

Para terminar con el trabajo de grado se contó con la oportunidad de instalar el paquete de Energy Metrix en un computador personal que está haciendo la función de servidor, este paquete cuenta con una herramienta de software que permite realizar un test para servidores OPC externos a los de Rotwell Automation, esta herramienta se llama OPC Test Client, permite realizar la conexión con un servidor OPC y enlazar la información que se desee monitorear, en la figura 4.7 se aprecia que se hace uso de esta herramienta para enlazar los datos que se están enviando a KepServerEx obteniendo un resultado exitoso. Con esta prueba se asegura que es posible realizar un enlace con el servidor Energy Metrix de la Universidad utilizando el sistema planteado en este trabajo de grado (en la figura 4.6 se aprecian datos que no reflejan la realidad debido a que la prueba se realizó con datos al azar y no con información obtenida mediante sensores).

The screenshot displays the OPC Unified Architecture Client interface. The main window shows a 'Data Access View' with a table of data points:

| # | Server | Node Id | Display Name | Value | Datatype | Source Timestamp | Server Time |
|---|------------------|-------------------|--------------|-------|----------|------------------|-------------|
| 1 | KEPServerEX/U... | NS2 String PRU... | Lago | 83 | String | 3:16:57.319 PM | 3:16:57.319 |
| 2 | KEPServerEX/U... | NS2 String PRU... | Ph | 186 | String | 3:16:57.319 PM | 3:16:57.319 |

Below this, the 'OPC Quick Client' window shows a tree view of the address space and a table of data points:

| Item ID | Data Type | Value | Time |
|---------------------|-----------|-------|-------|
| PRUEBA.Consumo.Lago | Float | 83 | 15:16 |
| PRUEBA.Consumo.Ph | Float | 186 | 15:16 |

The 'RSI - OPC Test Client' window shows a table of test results:

| ItemID | Sub Value | Sub Qu... | S Updat... | Run. Av... |
|---------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Updates / Second | 0.0114373 | Good | 3. 0 | 0.011556 |
| PRUEBA.Consumo.Lago | 83 | Good | 3. 0 | 0.011101 |
| PRUEBA.Consumo.Ph | 186 | Good | 1. 0 | 0.070225 |

Figura 4.6. Prueba de enlace KepServerEx y Energy Metrix

4.2. Requerimientos mínimos para instalación

Los requerimientos mínimos para que el sistema funcione son los siguientes:

- **Instalación de sensores en la tubería:** Se debe realizar una adecuación en la tubería para instalar los sensores debido a que estos son invasivos.
- **Fuente de alimentación 12V:** Esto implica que cerca al lugar de instalación debe existir un tomacorriente para poder conectar la fuente de 12V.
- **Conexión a red:** Debe existir una correcta conexión a Wifi cerca al lugar de instalación, esto para garantizar que el microprocesador no tenga inconvenientes conectándose a la red.
- **Conexión Ethernet para el servidor (Si se usa Servidor OPC o SQL Server):** Los servidores deben estar conectados mediante Ethernet a la red, esto para garantizar el correcto almacenamiento de información en los servidores.
- **Caja IP54:** Resistente al agua / a prueba de polvo, se recomienda este grado de protección, pero es flexible por si se quiere aumentar la protección, solo se recomienda hacer pruebas para asegurar que el microprocesador detecte correctamente la red mediante Wifi.

Conclusiones

- Debido al contexto que existe en la fecha de presentación de este documento, debido a la pandemia generada por el Covid-19, resulta difícil realizar todas las pruebas necesarias para poder almacenar la información en el servidor Energy Metrix, sin embargo, el método de conexión de microprocesador y Servidor OPC, además de innovadora, resulta ser algo interesante para tener en cuenta al momento de querer automatizar otros procesos donde se requiera monitorear el estado de las variables. A pesar de que en este proyecto de grado se da el enfoque hacia el consumo de agua, el sistema es capaz de aceptar otros medidores o sensores que tengan una función diferente a medir agua, debido a que solo se requerirá cambiar el tipo de procesamiento de la variable dentro del microprocesador, pero el resto de código queda intacto.
- Como se puede apreciar en la tabla 4.1, la solución propuesta en este proyecto de grado es más económica que una solución tradicional industrial, esto implica que el proyecto de grado ofrece una solución para el monitoreo remoto de consumo de agua en la Pontificia Universidad Javeriana Cali sin necesidad de una inversión de alto costo, permitiendo segmentar muchos puntos de la Universidad para obtener más información sobre el consumo de agua, de esta manera se pueden generar técnicas de análisis de datos que permitan tomar decisiones en cuanto al manejo del recurso hídrico dentro de la Universidad.
- El sistema cumple con el propósito de prescindir del registro manual de datos mediante desplazamiento al sitio, de esta manera se obtiene una mayor fiabilidad de los datos. Si se cuenta con mayor presupuesto que el invertido en este proyecto de grado para la adquisición de sensores se puede asegurar cada vez mayor fiabilidad de los datos. Debido a la posibilidad de generar nuevos campos en Ubidots, Energy Metrix/Servidor OPC, SQL Server y NodeRed, se hace posible añadir otras variables para monitorear del sistema hídrico de la Universidad, a su vez el microprocesador quedó con pines disponibles que sirven para incorporar otros sensores o módulos, de esta manera se diseña un sistema modular, al que es posible seguir añadiendo componentes si así se desea.
- Usando Energy Metrix es posible ejecutar análisis de datos debido a que el servidor permite hacer procesamiento de información mediante código Visual Basic, esto nuevamente deberá ser configurado por el ingeniero de Omnicon S.A que es quien se encarga de realizar modificaciones a este servidor de la Universidad. En caso de que no

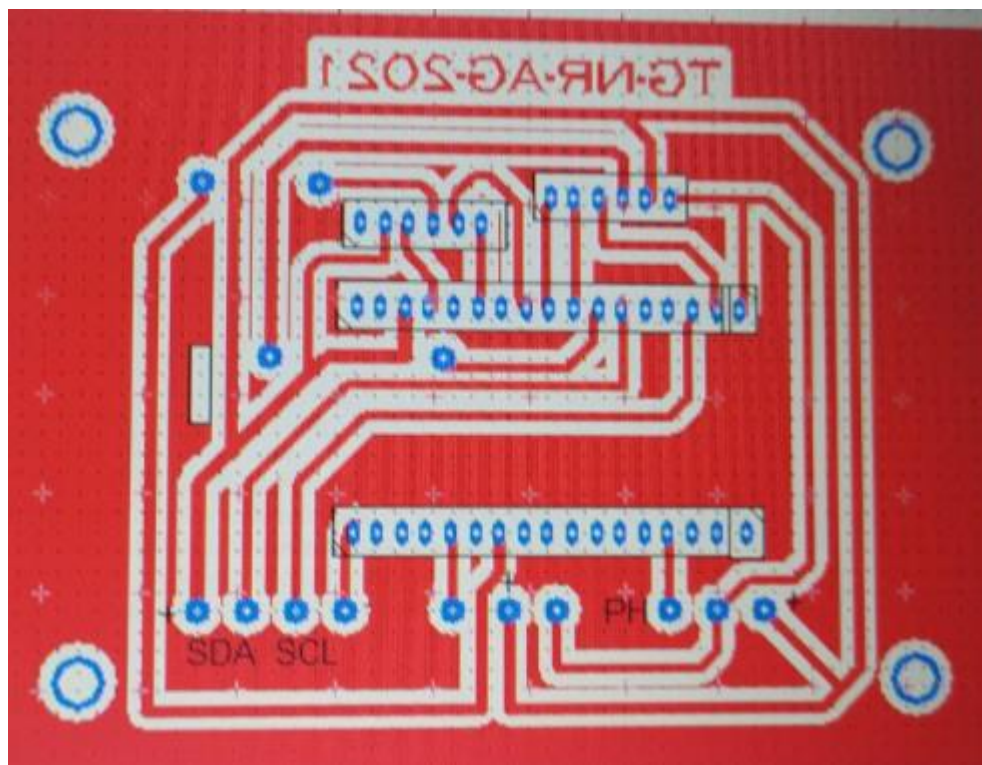
se almacene la información en Energy Metrix, SQL Server y Ubidots permiten extraer la información almacenada, por lo que el no uso de Energy Metrix no implica un impedimento al análisis de datos de consumo y calidad de agua potable en la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

- El trabajar con un servidor OPC permite la oportunidad de mezclar el monitoreo de bajo costo presentado en este proyecto de grado con un sistema de control avanzado, esto debido a que los servidores OPC permite leer o escribir datos a un PLC, controlador que serviría para crear un lazo de control robusto para el abastecimiento de agua potable en la Universidad o el control de calidad de agua en la PTAP de la Universidad.
- Haciendo uso de Ubidots, el servidor OPC-Energy Metrix o SQL server se consigue centralizar la información de la variable a medir en una sola plataforma, aspecto que permite analizar y monitorear los datos con mayor facilidad que como lo está realizando la Universidad en el momento actual de realización de este proyecto de grado.
- Lo más destacable del resultado de este proyecto de grado, es la metodología para almacenar información en un servidor industrial a través de un microprocesador, aspecto en lo cual se destaca este proyecto de grado con respecto a otras soluciones presentadas para la misma problemática. Al ser una combinación entre microprocesador y NodeRed hace que sea más fácil conectar diferentes entornos, sea la información del microprocesador a un servidor OPC, SQL Server o a otro entorno que se desee, como por ejemplo, Ubidots, esto abre la posibilidad a interconectar diferentes entornos y realizar procesos cada vez más robustos solo usando la plataforma de programación por nodos de NodeRed y adquiriendo información desde un microcontrolador de bajo costo como el utilizado en este proyecto de grado.
- Al finalizar el trabajo de grado se consigue el registro de datos de la variable pH, sin embargo, cabe aclarar que aún es necesario incluir otras variables de calidad de agua como lo pueden ser cloro libre, temperatura o turbidez, esto con el objetivo de crear un monitoreo robusto de la calidad de agua en la Pontificia Universidad Javeriana Cali. El tener más variables de calidad aporta a tener más información del agua que se consume en el campus y el microcontrolador aún cuenta con pines libres para añadir diferentes sensores.
- En este trabajo de grado se presenta el registro de datos en Ubidots, Energy Metrix y SQL Server, usando en estos dos últimos la herramienta NodeRed y en la primera una conexión directa entre microcontrolador y Ubidots. Analizando estos dos métodos, se identifica que es más favorable realizar el direccionamiento a plataformas web o servidores mediante NodeRed, esto debido a la facilidad que brinda esta herramienta para el direccionamiento de datos, a que se disminuye el procesamiento del microcontrolador permitiendo añadir si se quisiera otras funcionalidades al mismo y a que usando NodeRed se puede usar múltiples direccionamientos de la información permitiendo incluso registrar datos tanto en Energy Metrix como en Ubidots al mismo tiempo.

Recomendaciones para trabajos futuros

- Si se desea trabajar con el mismo sensor de flujo, debería hacerse una calibración del sensor haciendo uso de un medidor patrón.
- El sistema que se presentó en este proyecto de grado propone el primer paso para la automatización de la gestión del recurso hídrico dentro de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, debido a que al contar con información en la nube se abre la posibilidad de empezar a ejercer control automático al sistema hídrico, permitiendo regular el flujo de agua en un edificio dependiendo del consumo proyectado para un intervalo de tiempo, la oportunidad de cerrar válvulas automáticas si el comportamiento del consumo de agua se vuelve anormal o parar el flujo de los tanques de agua si existe algún problema como por ejemplo fugas.
- Si se cuenta con mayor presupuesto se recomienda tomar a consideración la adquisición de sensores con mayor fiabilidad para generar datos cada vez más confiables, si se da el caso que un sensor se quiera adquirir, pero este cuenta con una salida de 4 a 20mA, existen módulos que pueden adecuar esta salida para una entrada del microprocesador.
- Debido a que en este trabajo de grado no fue posible trabajar con medidores patrón para validar los datos registrados en las diferentes plataformas, es necesario si se desea llevar este trabajo de grado a una situación real, primero realizar la validación de los datos registrados sobre consumo de agua, esto sería posible usando los medidores con que ya cuenta la Universidad en los diferentes puntos de la red de distribución, para el caso de medición de pH o otra variable de calidad, lo primero que debe hacerse es la calibración con respecto a una sustancia buffer, pero también es recomendable utilizar un medidor patrón que permita realizar una última validación de resultados.

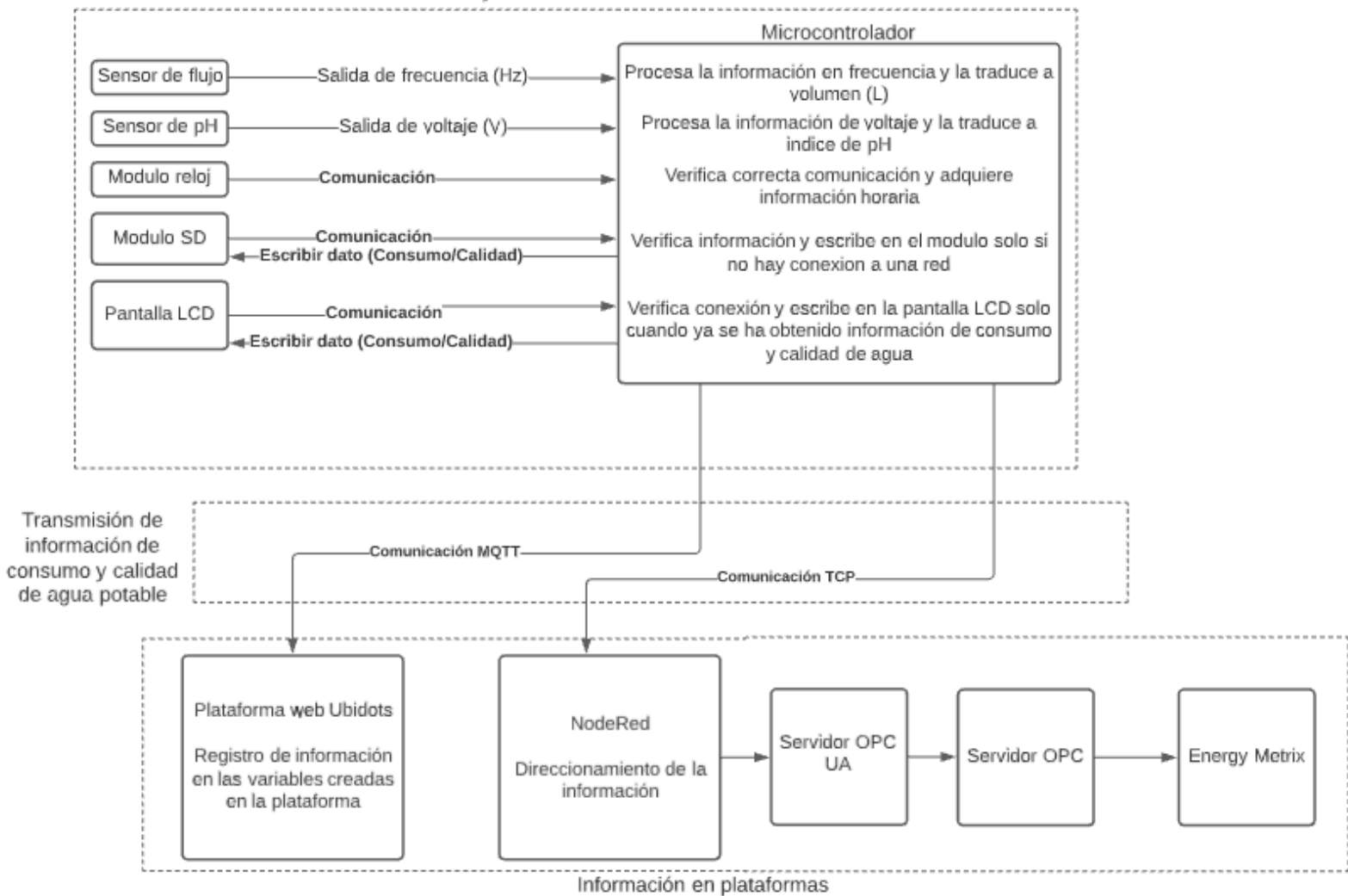
Anexos



Anexo B

Arquitectura del sistema

Adquisición de información de las variables y conexión con módulos



Anexo C

Manual de usuario

Para hacer uso de lo propuesto en este proyecto de grado, es necesario primero contar con los mínimos requerimientos para la instalación:

-Instalación de sensores en la tubería

-Fuente de alimentación 12V

-Zona wifi cerca del microcontrolador

-Conexión Ethernet para el servidor (Si se usa Servidor OPC o SQL Server)

-Caja IP54

La instalación del dispositivo implica una obra civil para la instalación de los sensores, la salida de estos sensores se debe conectar a la entrada que existe para cada sensor dentro de la caja IP54 del dispositivo, es importante que estos cables de salida de los sensores queden correctamente ajustados para evitar que se envíe información errada a la plataforma web o servidores. Para hacer uso del sistema de alimentación de respaldo solo es necesario conectar 2 baterías de litio de 3.7V 3000 mAh al portapilas, cabe recordar que este sistema de respaldo energético funciona de manera automática por lo que no es necesaria una manipulación extra para que funcione.

Para extraer la información del almacenamiento de respaldo de la tarjeta SD, es necesario dirigirse hasta el sitio donde está instalado el dispositivo y retirar la tarjeta SD del módulo donde está conectada, luego conectar la tarjeta SD a un adaptador de tarjetas SD para poder abrir el archivo Excel con formato CSV desde un computador. Luego de terminar de extraer los datos de la tarjeta SD se procede a retirarla del adaptador, ir al punto de instalación del dispositivo y volver a conectar la tarjeta SD al módulo de donde se extrajo.

Servidores

Para manipular los servidores OPC o SQL Server es necesario comunicarse con una persona instruida para el uso de KepServerEx, Energy Metrix y SQL Server, esto debido a que cualquier modificación puede afectar el funcionamiento completo del sistema o la pérdida de datos.

Las siguientes imágenes ilustran el proceso de instalación del dispositivo:

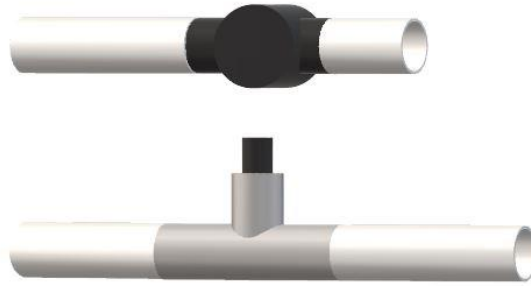


Figura 1. Instalación de sensores en tubería.

El primer paso como lo muestra la figura 1 es la instalación de los sensores dentro de la tubería, como se menciona anteriormente, es necesario de una obra civil debido a que se tiene que intervenir la tubería. También durante la instalación del dispositivo debe quedar la opción de retirar la sección de tubería donde se instale el sensor de flujo, esto para poder retirar el sensor en caso de que presente fallas o por mantenimiento.

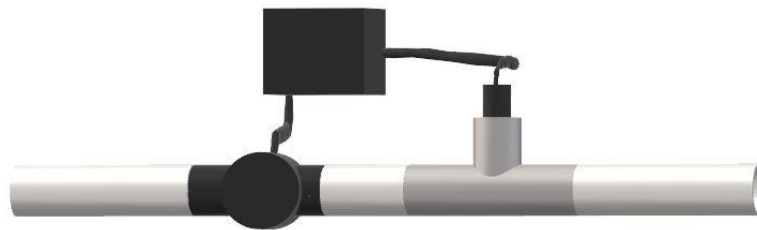


Figura 2. Conexión de los sensores al microcontrolador.

La figura 2 hace alusión a la conexión de las salidas de los sensores a la respectiva entrada del microcontrolador, la caja negra que se observa en la figura 2 emula la caja donde está contenido tanto el microcontrolador como los diferentes módulos, estos insertados en una placa PCB, en esta placa PCB se encuentra indicado donde se deben conectar las salidas de los sensores.



Figura 3. Conexión del dispositivo a un tomacorriente 110V.

El último paso para poner en funcionamiento el dispositivo es conectar la fuente de alimentación de 12V a un tomacorriente de 110V, cabe resaltar que la entrada de alimentación del microcontrolador es tipo MicroUSB.

Uso de la plataforma

En Ubidots se recalca una característica especial para descargar información almacenada:



Dentro de cada variable en Ubidots es posible descargar la información almacenada, esto queda guardado mediante un archivo Excel de formato CSV

Modificación de parámetros dentro del código

El código de programación del microprocesador se encuentra totalmente comentando y en las primeras líneas se encuentran cada variable, lo que permite modificar o agregar elementos si así se desea. Se trata de 2 códigos, uno para hacer uso de Ubidots y otro para SQL Server o Servidor OPC. Como aspectos destacables debido a que puede que sea necesaria su edición son:

Cambiar nombre de archivo Excel CSV de tarjeta SD

Solo se debe cambiar el nombre que aparece en la siguiente línea, pero es necesario que tenga el carácter “/” al inicio y que termine con “.csv”

```
if(!SD.exists("/datalog.csv"))
```

Agregar elemento a archivo Excel CSV de tarjeta SD

```
void appendFile2(fs::FS &fs, const char * path, const int message){
```

Debido a que el sistema cuenta con un sistema de almacenamiento de información en caso de que no exista conexión a la red, se puede configurar que tantos elementos se desean guardar en el archivo, si se desease agregar un elemento a ese archivo, es necesario crear otra función *void appendFile3* para agregar ese elemento, por ejemplo:

```
appendFile3(SD, "/datalog.csv", sensor); //Guardo un dato en la SD
```

Agregar variable en código para Ubidots

Al momento de querer agregar una variable para que esta sea almacenada en Ubidots es necesario cambiar el nombre del parámetro `VARIABLE_LABEL`, por ejemplo, si se quisiera agregar la variable de pH es de la siguiente manera:

```
#define VARIABLE_LABEL "ph"  
sprintf(topic, "%s%s", "/v1.6/devices/", DEVICE_LABEL);  
sprintf(payload, "%s", ""); //  
sprintf(payload, "{\"%s\":", VARIABLE_LABEL); //  
dtostrf(sensor2, 4, 2, str_sensor1); //Convierte dato del sensor2 a cadena y agrega 2 decimales de precision
```

Solo se modifica el nombre, en este caso “ph”, el resto de código debe dejarse igual, para publicar el dato en Ubidots se usan los siguientes comandos:

```
sprintf(payload, "%s {\"value\": %s}", payload, str_sensor1);  
Serial.println("Publishing data to Ubidots Cloud of ph");  
client.publish(topic, payload);  
client.loop();
```

Parámetros ajustables para credenciales Ubidots

Siguiendo con lo visto en la sección implementación de software en conexión con Ubidots, en las siguientes líneas de código se configuran los datos de TOKEN, nombre de variable y nombre de dispositivo.

```
#define TOKEN "BBFF-2UNpHi8BqTlcwAdwETKTihYi5rqRH6" // Ubidots' TOKEN
#define MQTT_CLIENT_NAME "Mi_nombre_M" // MQTT client Name
//Este nombre MQTT debe ser unico por cada microprocesador.
#define VARIABLE_LABEL "almendros" // Asigna el label de variable
#define DEVICE_LABEL "esp32" // Asigna el label de dispositivo
```

No se recomienda modificar otro parámetro dentro del código debido a que puede generar otro error, solo se permite que se estudie la posibilidad de definir otro tiempo diferente a 1 minuto para el envío de datos, pero ya será opción de la persona que desee modificar este tiempo.

Configuración de IP para código con destino a NodeRed

Para configurar la IP del computador o servidor destino donde está instalado NodeRed solo se modifica este parámetro, se recuerda que es de obligatorio uso una IP estática por medio de Ethernet

```
const char* host = "192.168.43.9"; //Ip del pc donde se envia la informacion
```

Agregar un puerto TCP para envío de datos a NodeRed

Una vez se haya creado un puerto que está escuchando en NodeRed, se procede a crear en el microprocesador una ruta para enviar información a ese puerto, para eso solo es necesario modificar en las siguientes líneas port, crear un nuevo cliente en el comando WiFiClient, por ejemplo "client2" y por último cambiar "sensor1" por la variable que se desee enviar a ese puerto.

```
port=8088;
WiFiClient client; /*Por cada variable se debe crear un cliente*/
/* This will send the data to the server */
String envio=String(sensor1); /*Se convierte la variable a String para poder enviar */
client.connect(host,port);
client.print(envio);
delay(5000);
Serial.print("El valor de consumo es: ");
Serial.println(sensor1);
Serial.println("Publicando dato de consumo");
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Consumo: ");
lcd.print(sensor1);
```

Anexo D

Manual de mantenimiento

El mantenimiento del sistema debe constar en el cambio o mantenimiento de los sensores.

Sensor de flujo

El proveedor del sensor del flujo YFS201 recomienda hacer el cambio de este sensor de manera anual, para esto es necesario primero cortar el suministro de agua por esa sección de la red de distribución, luego desenergizar todo el dispositivo, esto implica quitar alimentación principal y quitar pilas de respaldo energético, luego retirar el sensor de la tubería y reemplazarlo por el nuevo.

Sensor de pH

Al sensor de pH es necesario hacerle un lavado con agua ionizada por lo menos 1 vez al mes, esto como mantenimiento preventivo, sin embargo, el proveedor asegura que el dispositivo es capaz de funcionar 1 año, después del año es recomendable volver a verificar calibración del sensor y si lo amerita cambiarlo.

Pruebas de módulos y sensores

Se han creado códigos individuales para verificar el correcto funcionamiento de cada parte del sistema en caso de que algo no funcione correctamente, estos son:

- Prueba de sensor de flujo
- Prueba de sensor de pH
- Prueba de Módulo reloj
- Prueba de pantalla LCD
- Prueba de Módulo tarjeta SD
- Prueba de envío de datos a Ubidots
- Prueba de envío de datos a NodeRed

Bibliografía

- [1] P. R. Rutger Hofste, Leah Schleifer, Una cuarta parte de la poblacion mundial padece escasez de agua, 2019, [Web; accedido el 05-15-2020]. [Online]. Available: URL{<https://wrimexico.org/bloga/una-cuarta-parte-de-la-poblaci%C3%B3n-mundial-padece-escasez-de-agua>}
- [2] F. DARÍO, Estudio nacional del agua, 2010, [Web; accedido el 05-15-2020]. [Online]. Available: URL{<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP3.pdf>}
- [3] D. N. de Planeacion, Dispersion de empresas de acueducto hace necesaria la fusion de algunas de ellas, 2015, [Web; accedido el 05-15-2020]. [Online]. Available: URL{<https://www.dnp.gov.co/Paginas/Dispersi%C3%B3n-de-empresas-de-acueducto-hace-necesaria-la-fusi%C3%B3n-de-algunas-de-ellas.aspx>}
- [4] F. U. Mejía, alcalde de cali denunció un desangre del agua potable, 2020, [Web; accedido el 05-16-2020]. [Online]. Available: URL{<https://www.eltiempo.com/colombia/cali/alcalde-de-cali-denuncio-un-desangre-del-agua-potable-450472>}
- [5] P. U. J. C. R. Fisicos, Programa Uso Eficiente y Ahorro de Agua, Abril 2017. [Online]. Available:https://www.javerianacali.edu.co/ecocampus?page=4&qt-qt_conexion-javeriana_all=2
- [6] Z. H. C. Soh, M. S. Sha e, M. A. Sha e, S. N. Sulaiman, M. N. Ibrahim, and S. A. C. Abdullah, Iot water consumption monitoring & alert system, in 2018 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs). IEEE, 2018, pp. 168 172.
- [7] C. Rajurkar, S. Prabakaran, and S. Muthulakshmi, Iot based water management, in 2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2). IEEE, 2017, pp. 255 259.
- [8] A. C. Tasong and R. P. Abao, Design and development of an iot application wifith visual analytics for water consumption monitoring, Procedia Computer Science, vol. 157, pp. 205 213, 2019.
- [9] Y. Qin, A. U. Alam, S. Pan, M. M. Howlader, R. Ghosh, N.-X. Hu, H. Jin, S. Dong, C.-H. Chen, and M. J. Deen, Integrated water quality monitoring system wifith ph, free chlorine, andtemperature sensors, Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 255, pp. 781 790, 2018.
- [10] K. Simitha and S. Raj, Iot and wsn based water quality monitoring system, in 2019 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). IEEE, 2019, pp. 205 210.
- [11] B. Das and P. Jain, Real-time water quality monitoring system using internet of things, in 2017 International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelix). IEEE, 2017, pp. 78 82.

-
- [12] L. D. Sánchez, S. Rodríguez, J. C. Escobar, and P. Torres, Modelación del cloro residual y subproductos de la desinfección en un sector piloto del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de cali, *Ingeniería y Competitividad*, vol. 12, no. 1, pp. 127-138, 2010.
- [13] E. D. O. B. Diego Andres Beltran Martinez, Configuración y puesta a punto de un sistema de monitoreo basado en tecnologías de IoT, 2018. [Online]. Available: <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/10485>
- [14] M. V. Serna, Caracterización de consumo y manejo del agua en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para propuesta de uso eficiente, 2011. [Online]. Available: <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/7634>
- [15] El consumo del agua en porcentajes, 2020, [Web; accedido el 04-23-2020]. [Online]. Available: URL{https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/el-consumo-de-agua-en-porcentajes.asp}
- [16] M. de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2020, Uso eficiente y ahorro del agua, 2020, [Web; accedido el 04-25-2020]. [Online]. Available: URL{<https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/demanda/uso-eficiente-y-ahorro-de-agua>}
- [17] F. K. N. M. S. Nancy Diersing, Water quality: Frequently asked questions, 2009, [Web; accedido el 04-25-2020]. [Online]. Available: URL{<https://nms.oridakeys.blob.core.windows.net/oridakeys-prod/media/archive/scisummaries/wqfaq.pdf>}
- [18] ¿Que nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable? [Online]. Available: URL{<https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>}
- [19] Cloro residual, 2020, [Web; accedido el 04-24-2020]. [Online]. Available: URL{http://acquatecnologiaperu.com/wp-content/uploads/Cloro_residual_Acqua_Tecnologia.pdf}
- [20] Análisis de parámetros en aguas de consumo: el pH, [Web; accedido el 15-09-2020]. [Online]. Available: URL{<https://www.ambientalys.com/analisis-aguas-consumo-ph>}
- [21] ¿Por qué es importante el oxígeno disuelto? [Web; accedido el 15-09-2020]. [Online]. Available: URL{<http://www.cimcool.ca/uploads/downloads/Porqueesimportanteeloxigenodisuelto.pdf>}
- [22] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions, *Future generation computer systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645-1660, 2013.
- [23] C. Villagomez, Protocolo de comunicación, 2018, [Web; accedido el 04-26-2020]. [Online]. Available: URL{<https://es.ccm.net/contents/275-protocolo-de-comunicacion>}

Bibliografía

- [24] Dispositivo a nube, [Web; accedido el 04-25-2020]. [Online]. Available: URL{<https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/como-funciona-el-iot>}
- [25] Monitoreo remoto, [Web; accedido el 04-26-2020]. [Online]. Available: URL{<https://mx.omega.com/technical-learning/monitoreo-remoto.html>}
- [26] V. Giraldo, Las plataformas digitales son soluciones online que posibilitan la ejecución de diversas tareas en un mismo lugar a través de internet. 2020, [Web; accedido el 04-26-2020]. [Online]. Available: URL{<https://rockcontent.com/es/blog/plataformas-digitales/>}
- [27] Que es el análisis de datos? [Web; accedido el 04-26-2020]. [Online]. Available: URL{<https://www.questionpro.com/es/analisis-de-datos.html>}
- [28] Beltrán Martínez, D. A. & Ortiz Barajas, E. D. (2018,) Configuración y puesta a punto de un sistema de monitoreo basado en tecnologías de IoT. Pontificia Universidad Javeriana, Cali.
- [29] Que es un Servidor OPC?. [Online]. Available: URL { <https://matrikonopc.es/opc-servidor/index.aspx> }
- [30] YF-S201 Datasheet. [Online]. Available: URL {<https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>}
- [31] KepserverEx. [Online]. Available:URL{<https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex>}
- [32] Ubidots. [Online]. Available:URL{<https://ubidots.com>}